

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

Departamento de Informática



ANTSPICBREEDER: ARTE EVOLUTIVA
PRODUZIDA POR FORMIGAS ARTIFICIAIS

Nuno Miguel Mata Rodrigues Fernandes

DISSERTAÇÃO

MESTRADO EM INFORMÁTICA

2013

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

Departamento de Informática



ANTSPICBREEDER: ARTE EVOLUTIVA
PRODUZIDA POR FORMIGAS ARTIFICIAIS

Nuno Miguel Mata Rodrigues Fernandes

DISSERTAÇÃO

MESTRADO EM INFORMÁTICA

Trabalho orientado pelo Prof. Doutor Paulo Jorge Cunha Vaz Dias Urbano

2013

Agradecimentos

Embora uma dissertação seja, pela sua finalidade acadêmica, um trabalho individual, foram vários os obstáculos superados ao longo desta caminhada. Desta forma gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar, ao orientador desta dissertação, o Professor Dr. Paulo Jorge Cunha Vaz Dias Urbano, pela sua prestabilidade e acompanhamento deste estudo.

Deixo também uma palavra de reconhecimento aos meus familiares e amigos próximos, pela paciência e apoio que me dispensaram e sem os quais a presente dissertação não teria sido uma realidade.

*“Para ser um bom observador
é preciso ser um bom teórico.”*
Charles Darwin

Resumo

Os insetos sociais são conhecidos pelas suas extraordinárias capacidades auto-organizativas e cooperativas, que se traduzem em comportamentos coletivos complexos, mesmo quando a nível individual existe um acesso limitado a informação. As formigas da espécie *Temnothorax albipennis* constroem um dos ninhos mais simples encontrados entre os insetos sociais. Os seus ninhos têm propriedades específicas no que respeita à sua dinâmica, dado que se baseiam num *template* que adapta o tamanho do ninho de acordo com o número de indivíduos pertencentes à colónia. O *template* não é implementado fisicamente, mas é uma força que orienta a construção. No presente modelo, é concretizada uma representação de um sistema computacional evolucionário interativo, semelhante ao *Picbreeder* original, mas que contempla um nível de opacidades sobre as imagens originais. Estes pontos têm como principal intuito ocultar sua visibilidade das imagens e promover a emergência de *designs* compostos pelos trilhos de cores das formigas. Este parâmetro é fixo ao longo da evolução de cada geração. Cada espécie de formigas é definida por uma cor central e um intervalo de tolerância centrado nessa cor. O efeito de *template* para cada uma das espécies é dado pelas zonas de cores da imagem que coincidam com os respetivos intervalos de tolerância cor. Estes *templates* podem ser parcialmente visíveis logo desde o início da evolução, no momento em que as formigas partem para a sua atividade transformadora. Neste sistema as colónias de formigas têm capacidades comportamentais dinâmicas que lhes permite adaptar o seu trabalho de acordo com as alterações morfológicas de um *template*.

Palavras-chave: computação evolucionária, redes neuronais, algoritmos genéticos, comportamentos colaborativos, sistemas multi-agente, sistemas interativos

Abstract

Social insects are known for their extraordinary capabilities of self-organizing and cooperative behaviors, which are reflected through complex collective behaviors, even when individuals are limited in accessing local information. Ants of *Temnothorax albipennis* specie build one of the simplest nests found among social insects. The nests have specific properties regarding to its dynamic, since they are based on a template the size of the nest is adjusted in accordance with the number of individuals of the colony. The template is not implemented physically, but it is a driving force behind the construction. In this model, we achieved a representation of an interactive evolutionary system, similar to the original *Picbreeder* but which includes a level of opacities above the original images with the purpose to hide its visibility and promote the emergence of *designs* composed by the color rails made by the involved artificial ants. This parameter is fixed throughout the evolution of each generation. A center color and a range of tolerance define each species of ants. The areas of the image colors that match the respective color tolerance give the effect of template. These templates can be partially visible from the very beginning of evolution, when ants start their transforming activity. In this system, ant's colonies have a dynamic behavioral capability that allows them to adapt their work according to the morphological changes of the template.

Keywords: evolutionary computation, neural networks, genetic algorithms, cooperative behaviors, multi-agent systems, interactive systems

Conteúdo

Capítulo 1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objectivos	4
1.3	Estrutura do documento	4
Capítulo 2	Trabalho Relacionado	5
2.1	Arte Artificial feita por Formigas Artificiais	5
2.2	<i>Sand Painting Artists</i>	8
2.3	<i>NeuroEvolution of Augmenting Topologies</i> (NEAT).....	15
2.4	Desenvolvimento de Padrões	17
2.5	<i>Compositional Pattern Producing Networks</i> (CPPN)	18
2.6	<i>Picbreeder</i>	20
Capítulo 3	<i>Evolutionary Picture Designs made by Artificial Ants</i>	23
3.1	Modelo Base - <i>Picbreeder Extender</i>	24
3.2	Modelo 1 – <i>Working Ants</i>	28
3.3	Modelo 2 – <i>Working Ants in Spaces</i>	37
3.4	Modelo 3 – <i>Parameters Crossover</i>	40
Capítulo 4	Conclusão	45
Capítulo 5	Bibliografia	46

Lista de Figuras

2.1 <i>Painting Ants</i> : Aleatoriedade direcional	7
2.2 <i>Painting Ants</i> : Matriz de referencia	8
2.3 <i>Painting Ants</i> : Resultados	9
2.4 <i>Sand Painting Artists</i> : Exemplo de resultados	15
2.5 CPPN: Grafo de funções	20
2.6 CPPN: Exemplo de evolução.....	20
2.7 <i>Picbreeder</i> : Exemplo de imagens evoluídas.....	22
3.1 <i>Picbreeder Extender</i> : Interface base.....	25
3.2 <i>Working Ants</i> : Aleatoriedade direcional.....	31
3.3 <i>Working Ants</i> : Níveis de densidade de pontos opacos.....	32
3.4 <i>Working Ants</i> : Exemplo de evolução	35
3.5 <i>Working Ants</i> : Resultado de evolução.....	35
3.6 <i>Working Ants in Spaces</i> : Áreas de actuação.....	38
3.7 <i>Working Ants in Spaces</i> : Resultados de evolução.....	39
3.8 <i>Parameters Crossover</i> : Cenário sem áreas - Imagem original.....	42
3.9 <i>Parameters Crossover</i> : Cenário sem áreas - Resultados aleatórios.....	42
3.10 <i>Parameters Crossover</i> : Cenário com áreas - Imagem original.....	43
3.11 <i>Parameters Crossover</i> : Cenário com áreas - Resultados aleatórios.....	43

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O processo de constituição de um *design* normalmente requer perícia e conhecimento específico (Graham, 2004; Brown and Birmingham, 1997). No entanto, o maior desafio deriva do facto de os *designs* serem escolhidos de entre um espaço de possibilidades vasto, onde os mais interessantes de um ponto de vista estético, são os mais difíceis de alcançar. Efetuar uma procura num espaço de *designs* muito vasto requer um esforço significativo por parte de especialistas na área. Desta forma, um enfoque de interesse para investigação será a constituição de um processo evolutivo de *designs* eficiente que consiga tirar partido de metodologias evolutivas otimizadas, e que promova o aumento da capacidade de interação entre o sistema e os *designers* (Goldschmidt and Porter, 2004; Shneiderman, 2007).

Uma das metodologias com potencial para assistir um processo evolutivo é a Computação Evolucionária Interativa (CEI), que consiste numa evolução artificial guiada pela intuição humana (Takagi, 2001). Os sistemas deste tipo geram uma população inicial, a partir da qual o utilizador seleciona os indivíduos que considera mais relevantes para constituir uma nova geração. Ao longo da iteração deste processo as populações geradas seguem as tendências evolutivas definidas pelo utilizador. Esta metodologia é muito eficiente em domínios onde é difícil definir o que é considerado sucesso ou fracasso. Existe um nível significativo de complexidade na definição do que é ou não belo através de algoritmos automatizados, dada a profundidade do conceito. No entanto, um ser humano é capaz de fazer este tipo de distinção instintivamente de acordo com as suas próprias convicções.

A CEI consegue gerar uma grande diversidade de artefactos, de entre eles, a elaboração de imagens (Sims, 1993, 1997; Rooke, 2002; Machado and Cardoso, 2002; World 1996; Hart, 2007; Unemi, 1999). Neste domínio existe uma grande diversidade de espaços de possibilidades passíveis de serem explorados. No entanto, a evolução artificial de imagens geradas em sistemas CEI pode-se tornar uma tarefa morosa e pouco eficiente, caso sejam utilizadas metodologias e algoritmos de forma automatizada que não façam qualquer tipo de complexificação a cada geração. Um dos modelos evolutivos que supera esta lacuna, é o *Picbreeder* proposto por Stanley (Secretan et al., 2008; Secretan et al., 2011; *Picbreeder*: www.picbreeder.com), que constitui um exemplo de eficiência algorítmica em termos evolutivos.

Picbreeder (*Picbreeder*: <http://picbreeder.org>) é uma comunidade online na qual os utilizadores podem evoluir e partilhar imagens, e mais importante, continuar a evolução de imagens de outros utilizadores. Dado o processo de ramificação de imagens e o aumento de complexidade contínuo, a diversidade de imagens geradas neste sistema prolifera ao contrário do que acontece com muitos outros sistemas de CEI.

Os insetos sociais têm especial importância em estudos relacionados com tomadas de decisão, isto porque têm a capacidade de execução não só de forma individual, mas também de forma coletiva. A forma como decidem explorar um recurso, requer uma ponderação acerca da sua qualidade, coerência e benefícios para a sua própria colónia (Schmid-Hempel et al. 1985; Eckert et al. 1994; Seeley 1995). As decisões coletivas não são uma mera ponderação da quantidade de indivíduos que decidiram agir de uma determinada forma. Uma colónia de insetos consegue distinguir qual a melhor ação a tomar, mesmo que nenhum indivíduo de forma individual, tenha conhecimento de todas as possibilidades disponíveis (Seeley et al. 1991). A colónia funciona como um todo, e a sua complexidade deriva do comportamento individual de cada um dos seus elementos, que por norma tem um acesso a informação local limitado.

As colónias de insetos sociais variam em diversas ordens de magnitude (Hölldobler and Wilson 1990). Este facto levou alguns autores a afirmarem que o tamanho de uma colónia é muitas vezes um fator primordial para a concretização de comportamentos coletivos complexos (Oster and Wilson 1978; Pacala et al. 1996; Karsai and Wenzel 1998; Bourke 1999; Anderson and McShea 2001; Buhl et al. 2004; O'Donnell and

Bulova 2007). As colónias de formigas podem ser consideradas como sistemas autónomos que constroem formas artísticas, mas de uma perspectiva biológica e não direcionada para críticos de arte. O principal intuito dos sistemas compostos por agentes que desenvolvem as suas próprias práticas artísticas, não deve ser confundido com o objetivo de alargar o âmbito de arte para valorização humana.

As pinturas concretizadas por insetos foram inicialmente produzidas em experiências realizadas por Ramos (Ramos et al., 2000; Ramos and Merelo, 2002) que as estudou com o propósito de efetuar processamento de imagens. Consequentemente, as suas experiencias conduziram ao modelo de pinturas robóticas propostas por Moura (Moura and Pereira, 2004; Moura and Ramos, 2002). No entanto, foi no grupo de investigação liderado por Monmarché (Aupetit et al. 2003) que em primeiro lugar se usou o termo “pinturas de formigas” para descrever pinturas abstratas realizadas por formigas artificiais que vagueiam sobre um ambiente de duas dimensões.

Greenfield (Greenfield, 2005) considerou um modelo evolutivo de pinturas concretizadas por formigas muito similar, mas que contemplava um número de espécies de formigas diferente. Urbano foi o primeiro autor a propor um modelo de concretização de pinturas de formigas fiel ao seu modelo biológico (Urbano, 2011). Para isso, baseou-se no modelo comportamental da espécie de formigas *Tenmothorax albipennis* proposto por Franks (Camazine et al. 2003).

Na presente dissertação é proposto o desenvolvimento de um modelo de artístico CEI de formigas artificiais, baseado numa plataforma de emergência de imagens de duas dimensões. As tarefas desenvolvidas pelas formigas baseiam-se no mesmo paradigma comportamental usado por Urbano. Neste sistema as formigas artificiais procuram desbravar as opacidades que se distribuem de forma aleatória sobre as imagens geradas de forma a dar visibilidade às suas próprias cores de espécie. Estas tarefas fazem com que sejam evoluídos trilhos de cores que formam *designs* abstratos e adaptativos.

1.2 Objectivos

Este trabalho visa criar um modelo de computação evolucionária interativa de formigas artificiais, baseado numa plataforma de emergência de imagens 2D, que permita constituir, através de procedimentos evolutivos, formas de arte computacional dinâmicas. Toda a flexibilidade imposta na constituição de padrões deriva de analogias a comportamentos verificados a nível biológico.

O principal enfoque de toda a investigação proposta recai em dois dos mais simples tipos de comportamento em agentes virtuais, a auto-organização e comportamentos colaborativos. A sinergia alcançada através destes comportamentos desempenha um importante papel na eficiência comportamental das formigas artificiais. De forma a maximizar a agilidade do trabalho executado a cada instante, e consequente aumento de complexidade dos padrões gerados, na presente dissertação são apresentadas algumas propostas de formas de optimização comportamental de forma interativa.

1.3 Estrutura do documento

Este documento está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução
- Capítulo 2 – Trabalho Relacionado
- Capítulo 3 – Evolutionary Picture Designs made by Artificial Ants
- Capítulo 4 – Conclusão
- Capítulo 5 – Bibliografia

Capítulo 2

Trabalho Relacionado

2.1 Arte Artificial feita por Formigas Artificiais

A natureza foi sempre uma fonte de inspiração predominante nas artes. A sua implicação em arte computacional pode ser demonstrada através da tradução concretizada a partir do paradigma de vida artificial e inteligência artificial em sistemas dinâmicos capazes de criar pinturas.

Um dos propósitos do modelo proposto por Nicolas Monmarché (Monmarché et al. 2008), foi considerar o paradigma de formigas artificiais como uma ferramenta para gerar pinturas. De um ponto de vista estético, foi de interesse demonstrar como a inteligência de colónias de formigas e respetiva auto-organização resultaram em pinturas que alcançam uma dimensão artística.

Neste modelo, a presença de comportamentos competitivos entre colónias de formigas possibilitaram que fosse alcançada a emergência de pinturas abstratas. O seu desenvolvimento está dependente de um conjunto de parâmetros que definem a amplitude de valores possíveis para o espaço de pesquisa. Estes parâmetros correspondem à cor de espécie das formigas envolvidas, cor que as formigas procuram, probabilidades de mudança de direção, tipo de movimento e à probabilidade que as formigas têm de seguir a cor que procuram.

Com a introdução do algoritmo genético interativo IGA, tornou-se possível efetuar uma procura eficiente dos conjuntos de parâmetros correspondentes ao tipo de imagens mais apreciadas pelos utilizadores. Dada a sua interatividade, este algoritmo é um método adequado para resolver problemas que lidam com espaços de procura muito vastos.

Painting Ants

Este modelo consiste num ambiente dinâmico capaz de reproduzir pinturas abstratas feitas por formigas artificiais que vagueiam num ambiente virtual de duas dimensões, sem delimitações. O desenvolvimento das pinturas é concretizado por etapas, a partir de um pequeno número de formigas virtuais (1-6) que depositam uma coloração da sua cor de espécie sobre os pixéis por onde passam, enquanto vagueiam em busca de uma outra coloração, que pode ou não ser da sua cor de espécie. Ao longo deste processo é possível verificar que a construção dinâmica e coletiva das pinturas destaca a competição que ocorre entre espécies de formigas, quando cada formiga tenta substituir os trilhos de uma determinada cor por trilhos da cor da sua espécie.

Numa primeira fase de desenvolvimento do modelo foi demonstrado como as formigas podem produzir pinturas de forma autónoma, e consequentemente numa fase posterior foi introduzido o algoritmo IGA de modo a permitir que existisse algum tipo de interação por parte dos utilizadores no desenvolvimento das pinturas.

As formigas envolvidas neste modelo movem-se numa imagem virtual, do tipo bitmap, onde a cada etapa, escolhem o pixel para onde se vão movimentar de forma estocástica. Por norma as formigas tendem a preferir movimentos que preservam a sua direção. No entanto, existem dois tipos de movimentos alternativos possíveis, o oblíquo e em ângulo reto (fig. 2.1).

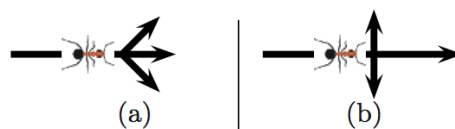


Fig. 2.1:Exemplo de formiga em movimento oblíquo (a) e em ângulo reto (b) (fonte: Monmarché, 2008)

Por cada um dos possíveis movimentos existem três parâmetros que representam as probabilidades de orientação, nomeadamente, para a esquerda (P_e), direita (P_d) e em frente (P_f). Desta forma, temos que,

$$P_e + P_d + P_f = 1 \quad (1)$$

As colorações que as formigas depositam ao longo do tempo formam trilhos com a cor correspondente à sua espécie. Todas estas cores são determinadas por componentes do modelo de cores RGB (Cr, Cg, Cb).

A cada sequência de instantes, as formigas inspecionam as células vizinhas em busca trilhos de cores. As cores que procuram são igualmente compostas por componentes RGB (Fr, Fg, Fb). Desta forma, uma formiga reconhece se o pixel onde se encontra corresponde à cor que procura através da diferença entre componentes RGB de ambas as partes. Caso estes parâmetros não excedam o *threshold* definido, fixado a 40, significa que o pixel em causa está dentro da amplitude de cores que a formiga procura.

De forma a tornar o aspeto dos trilhos sobre a imagem mais difuso, o ato de depositar uma coloração é concretizado através do produto de uma operação matemática linear. Este produto é obtido através de uma matriz de nove células que atribui diferentes intensidades de cor à posição corrente da formiga e a cada um dos seus oito pixéis vizinhos. As respetivas intensidades são atribuídas de acordo com o valor de cada uma das células da matriz de referência (fig. 2.2), considerando que a posição central, onde a intensidade é máxima, corresponde ao pixel onde a formiga se encontra.

$$M_c = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Fig. 2.2: Matriz de referência (fonte: Monmarché, 2008)

A figura 2.3 mostra dois pares de imagens correspondentes aos resultados de duas experiências distintas, envolvendo duas espécies de formigas. Em cada uma das experiências as formigas têm as mesmas probabilidades de movimento e de procura de cor, no entanto, procuram cores diferentes. Na primeira experiência as formigas seguem a sua própria cor de espécie (fig. 3 (a), (b)), enquanto que na segunda cada formiga segue a cor contrária (fig. 3 (c), (d)). Em cada par de imagens são representados dois momentos no tempo, que correspondem às 105 e 106 etapas. É possível verificar que os resultados obtidos são bastantes diferentes devido à mudança de comportamento.

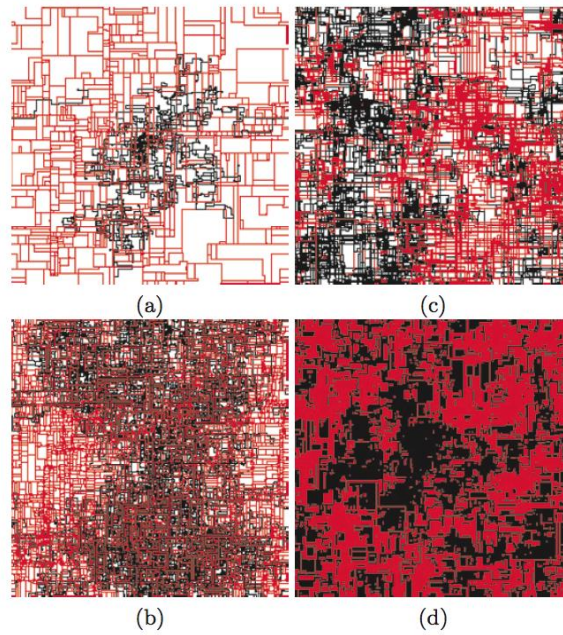


Fig. 2.3: Pinturas obtidas com diferentes parametrizações (fonte: Monmarché, 2008)

Apesar dos resultados apresentados serem meras imagens estáticas, o trabalho desenvolvido pelas formigas não tem fim, o que torna todo este processo inteiramente dinâmico. Assim, ao longo de cada sequência de etapas são constituídas sequências de imagens morfologicamente diferentes.

2.2 *Sand Painting Artists*

Os insetos sociais são conhecidos pelas suas capacidades de adoção de comportamentos coletivos complexos, mesmo quando a nível individual o acesso a informação local é limitado. As formigas da espécie *Temnothorax albipennis* constroem um dos ninhos mais simples encontrados entre os insetos sociais.

Franks e Deneubourg (Franks et al. 1992; Franks and Deneubourg, 1997) observaram algumas colónias desta espécie de formigas em ambiente natural. Os seus ninhos são constituídos por uma densa parede circular, com uma ou mais entradas, feita de detritos como, fragmentos de pedra, grãos de areia ou pedaços de terra. As colónias desta espécie de formigas são constituídas por crias, trabalhadoras e uma única rainha. Estes agregados raramente ultrapassam as 350 trabalhadoras.

Os ninhos desta espécie têm propriedades específicas no que respeita à sua dinâmica, no entanto, comportamentos como agarrar ou depositar detritos não dependem diretamente de quem os realiza (rainha, crias ou trabalhadoras). Embora a natureza exata deste mecanismo padrão permaneça desconhecida, é um facto que à medida que as colónias crescem o tamanho do ninho é adaptado ao número de indivíduos pertencentes à colónia. A densidade local de recursos de construção desempenha de igual forma um importante papel na eficiência da construção dos ninhos.

Modelo de formigas de Franks

No estudo realizado por Franks (Franks and Deneubourg, 1997) o principal objetivo foi a exploração, através de experiências e modelos matemáticos, do mecanismo e comportamento usado pelas formigas *Temnothorax albipennis* para a produção dos padrões de construção observados em ambiente natural. Para isso, avaliou o comportamento de construção desta espécie a dois níveis diferentes. Ao nível do comportamento de construção individual e ao nível da complexidade da estrutura dos seus ninhos. Posteriormente procurou explorar de forma explícita a ligação entre estes dois níveis.

Franks ilustrou com o seu modelo a forma de regulação automática do tamanho dos ninhos da espécie observada, demonstrando como são construídos em conformidade com o número de elementos da colónia, e como se conseguem adaptar ao crescimento da população demonstrando um comportamento dinâmico e auto-organizativo.

No seu modelo os atos de apanhar e largar recursos de construção baseiam-se em funções probabilísticas que dependem da distância da formiga à ninhada e grupo de trabalhadoras. Estas funções assumem valores máximos e mínimos consoante a densidade dos estímulos fornecidos, derivados da presença da ninhada, trabalhadoras ou de trilhos de feromonas.

Uma formiga sem carga (U) quando se depara com um fragmento de pedra (S) poderá, eventualmente, apanha-lo de forma a tornar-se uma formiga com carga. A frequência com que os fragmentos de pedra são apanhados numa zona em particular está relacionado com $P(r)$. A qualquer momento, uma formiga carregada poderá depositar o recurso que transporta com uma probabilidade dada por $D(r)$ Q. É assumido que o número máximo de recursos de construção que podem ocupar um nó é dado por Q.

Uma formiga que toma a decisão de largar o seu fragmento de pedra, mas que descobre que o nó onde se encontra está sobrecarregado, move-se em direção a outro nó. Este pressuposto é baseado simplesmente em constrangimentos físicos. Cada nó suporta até 5 pedras. Quando Q assume o valor zero, significa que o número de pedras num determinado nó é igual ao número máximo de pedras que aí pode ser alocado. De forma inversa, quando assume o valor um, significa que o espaço destinado a esse nó se encontra totalmente livre. As quantidades de D e P são influenciadas pelo *template* do modelo. Se as formigas se encontrarem numa área onde a construção é permitida pelo *template*, D é mais elevado e P é menor, caso contrário D é menor e P maior.

A fórmula que determina a probabilidade de largar um recurso de construção, $D(r)$, é máxima e a de apanhar um recurso, $P(r)$, mínima, quando uma formiga se encontra num ponto no centro do ninho onde $r = r_0$. Este facto depende de uma densidade particular de estímulo, derivada da presença física da ninhada e formigas adultas, assim como dos sinais químicos e pistas que estes disponibilizam. Uma população maior providência um raio ao centro da colónia mais elevado. Neste modelo $D(r)$ corresponde a,

$$D(r) = \frac{D_M}{1 + \tau(r - r_{o_i})^2}. \quad (2)$$

Onde τ corresponde a uma medida que influência a espessura da parede do ninho e D_M é o valor correspondente à probabilidade de largar um ponto. Um maior ou menor valor de τ corresponde respetivamente a uma menor ou maior largura da parede do ninho. A probabilidade de apanhar um fragmento de pedra, $P(r)$, é dada por,

$$P(r) = P_M \left(1 - \frac{1}{1 + \tau(r - r_{o_i})^2} \right). \quad (3)$$

A primeira versão deste modelo assumia que apenas o *template* afetava o comportamento das formigas construtoras. Não considerava qualquer amplificação na probabilidade de apanhar ou largar fragmentos de pedra como resultado de a formiga se encontrar na presença de outras pedras. De forma a contabilizar o efeito de amplificação foi substituída a fórmula $D(r)$ por $D(r) G(S)$ de maneira a que a probabilidade de apanhar um recurso se torne,

$$D(r) G(S) Q \quad (4)$$

Onde $G(S)$ expressa o facto de os recursos de construção que as formigas transportam serem frequentemente largados quando estas embatem com obstáculos. A seguinte função do tudo ou nada é uma forma simples de expressar o significado de $G(S)$: se S for pequeno, e menor que S_c , $G(S)$ é pequeno e igual a G_m . Se S é elevado e maior ou igual que S_c , $G(s)$ é elevado e igual a G_M . Assim,

$$G(S) = G_m \text{ se } S < S_c; \quad G(S) = G_M \text{ se } S \geq S_c; \quad G_m < G_M \quad (5)$$

Onde S_c corresponde aos fragmentos de pedra dentro da amplitude percetual das formigas. A equação (5) significa que enquanto o número de pedras numa área aumenta, a probabilidade de largar uma pedra aumenta, de acordo com o verificado em ambiente laboratorial. De forma semelhante a probabilidade de agarrar um fragmento de pedra é dado por,

$$P(r) F(S). \quad (6)$$

De forma a reduzir o numero de parâmetros é assumido que para $F(S)$, a desigualdade, é inversa a $G(S)$.

$$F(S) = F_m \text{ se } S \geq S_c; \quad F(S) = F_M \text{ se } S < S_c; \quad F_m < F_M. \quad (7)$$

Isto significa que quanto maior for o numero de pedras na área em causa, a probabilidade de apanhar uma determinada pedra diminui. Neste modelo, os atos de apanhar e largar recursos de construção são negligenciados dado que são ações de curta duração.

As formigas sem carga são essencialmente as formigas que deslocam para o exterior do ninho em busca de recursos. A cada momento, uma formiga poderá apanhar um fragmento de pedra, caso se depare com o mesmo num determinado instante. Se a formiga for bem-sucedida, seleciona a sua nova posição de forma aleatoria e a probabilidade de largar o grão é novamente computada. Se a formiga não largar a sua pedra, uma nova posição será examinada, e assim por diante. Assim, cada pedra na verdade tem uma probabilidade específica de se deslocar de um nó para outro a cada

momento. Esta aproximação é justificada pela diferença na escala temporal entre as atividades de construção individual e a dinâmica de construção global.

Na abordagem usada neste modelo foi concretizada uma análise do comportamento de construção como uma forma de interação entre os modelos comportamentais criados pelas formigas de forma individual, atividade da colônia como um todo, regras de construção e demolição, e feedback positivo e negativo decorrente da forma com que os recursos de construção estão distribuídos.

Efeito de amplificação

Na ausência de efeito de um *template*, os valores de $D(r)$ e $P(r)$ são constantes, e a localização de r não afeta a probabilidade de apanhar ou largar fragmentos de pedra. A cada momento os recursos de construção podem ser agarrados e depositados. $F(S)$ e $G(S)$ correspondem respectivamente à probabilidade de apanhar e largar fragmentos de pedra. Quanto menos pedras existirem numa zona em particular, maior será a probabilidade de uma determinada pedra ser agarrada por uma formiga. Inversamente, quanto menor for a densidade de pedras numa zona em particular, menor será a probabilidade de uma formiga largar uma pedra. Isto é uma consequência da amplificação herdada da atratividade das pedras por outras pedras, e pelo fator de inibição que pedras impõem sobre outras pedras.

No momento zero os recursos de construção são dispostos de forma aleatória sobre o meio envolvente. Quando um grupo de formigas se depara com um destes recursos encorajam a adição de mais pedras sobre o aglomerado crescente, aumentando a sua atratividade. Este feedback positivo fomenta o crescimento do aglomerado

Template

Existem evidências de que as formigas construtoras desta espécie usam um molde, em parte, para organizar o seu trabalho de construção. O aglomerado de formigas trabalhadoras e respetiva ninhada num novo ninho, podem produzir feromonas ou deixar pistas que funcionam como um *template* para determinar onde é que o material de construção deve ser depositado.

É sabido que colónias de formigas numerosas marcam a localização dos seus ninhos, assim como o seu meio envolvente. O efeito destas marcações afetam os movimentos de cada formiga de forma individual, que se reflete na colónia como um todo (Aron e tal. 1986; Maschwitz e tal. 1986; Holldobler and Wilson 1978; Holldobler and Wilson 1990 pp. 286-291). Assim, uma parede circular de detritos de pedras pode surgir com mais probabilidade nas zonas do meio envolvente onde a intensidade das marcas é maior.

Quando uma colónia de formigas desta espécie muda de ninho, muitas das formigas construtoras deslocam-se até ao ninho antigo para depositarem mais material de construção. Este facto sugere a existência de um molde de longa duração que pode ter um papel importante nas atividades construção desenvolvidas pelas formigas.

Sand Painting Artists

As primeiras pinturas concretizadas por formigas artificiais fiéis ao modelo biológico foram concretizadas por Urbano (Urbano, 2011). O seu modelo é baseado no comportamento que as formigas da espécie *Temnothorax albipennis* adoptam para a construção dos seus ninhos. Neste sistema as formigas artificiais baseiam-se no modelo comportamental proposto por Franks [], no entanto apenas tiram partido do seu efeito de *template*, descartando os comportamentos auto-organizativos.

Na prática existem vários templates, todos circulares com diferentes raios e centros de espécie. A novidade inerente a este sistema, consiste na utilização de cores no mundo das formigas. Com este novo parâmetro, é possibilitada a eventual competição entre espécies de formigas. Caso as espécies tenham a mesma cor vão competir pelos mesmos recursos e podem eventualmente destruir as paredes de um ninho de uma espécie concorrente.

Neste modelo, uma formiga que se encontre sem carga irá vaguear aleatoriamente. Significando que se deslocará num determinado sentido e, eventualmente, mudará de

direção consoante uma probabilidade. Sempre que se deparar com um grão de areia virtual da sua cor de espécie apanha-o com uma probabilidade dada por $P(r)$. Se for bem-sucedida torna-se numa formiga com carga. Caso contrário, continua a vaguear aleatoriamente pelo mundo virtual. Uma formiga com carga desloca-se de imediato em direção ao centro do ninho da sua colónia se o raio externo for maior que o raio interno ($r > r_{oi}$), caso contrário irá vaguear. Caso a formiga se encontre numa célula livre depositará o seu grão com uma probabilidade dada por $D(r)$. Se for bem-sucedida torna-se numa formiga sem carga.

O desenvolvimento das pinturas neste modelo implica que sejam configurados alguns parâmetros essenciais, nomeadamente, o número de colónias de formigas envolvidas e consequente diversidade de cores, a densidade e localização inicial dos grãos de areia no meio envolvente e a amplitude de raios ao centro do ninho. Na figura 2.4 podem visualizar-se 9 pinturas de formigas artificiais obtidas através da imposição de diferentes parametrizações. Os resultados obtidos evidenciam a diversidade de ninhos que podem ser constituídos com base no modelo comportamental proposto, num ambiente onde existirá competição por recursos, caso o número de espécies seja superior ao número de cores.

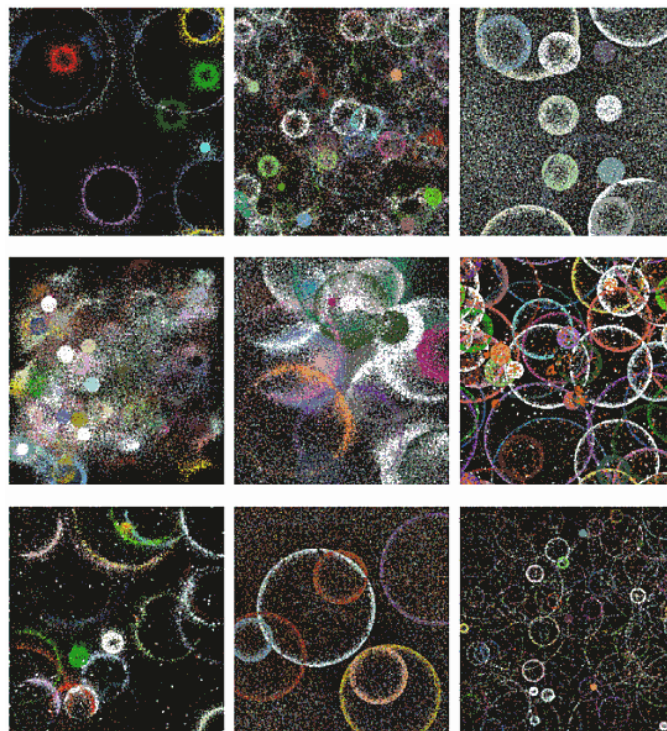


Fig. 2.4: Pinturas constituídas com diferentes parametrizações (fonte: Urbano, 2011)

O tempo que as pinturas demoram a desenvolver, está diretamente relacionado com a diversidade de parametrizações que fazem aumentar a densidade do meio envolvente, como a densidade de grãos, tamanho da população imposta, e fatores que influenciam os padrões comportamentais das formigas. Os parâmetros D_M e P_M não influenciam o tipo de padrão gerado, mas influenciam a rapidez com que a pintura é concretizada.

Greenfield - *Evolutionary Methods for Ant Colony Paintings*

No modelo desenvolvido por Greenfield (Greenfield, 2005) foram investigados métodos evolucionários para uso num modelo de otimização de colónias com o intuito de evoluir pinturas de formigas. Este modelo foi inspirado no trabalho de Monmarché (Monmarché et al. 2008). No entanto as duas grandes diferenças entre estes dois modelos devem-se ao facto de no modelo de Greenfield não terem sido usados algoritmos genéticos, e os trilhos de feromonas poderem servir de atratores ou repelentes. Os resultados alcançados mostraram como diferentes medidas de *fitness* conseguem induzir diferenças nos estilos artísticos alcançados ao longo de um processo evolutivo de pinturas. Para além disso, foi também explorada a sensibilidade dos estilos criados a perturbações nos parâmetros requeridos pelo algoritmo genético, e discutida a evolução e interação de diferentes tipos formigas em colónias já definidas.

2.3 *NeuroEvolution of Augmenting Topologies (NEAT)*

A metodologia NEAT (Stanley and Miikkulainen, 2002a, Stanley and Miikkulainen, 2002b; Stanley et al. 2003; Green, 2004) tem por finalidade evoluir redes neuronais artificiais com o auxílio de algoritmos evolutivos. Esta é uma técnica de neuroevolução desenvolvida por Stanley na Universidade do Texas em Austin, no ano de 2002. A principal aplicação desta técnica é a resolução de problemas relacionados com a dificuldade de controlo e tomada de decisões em tarefas sequenciais. O seu modo de funcionamento faz com que o peso dos parâmetros de ponderação das ligações sinápticas e estruturas de redes se alterem, na tentativa de encontrar um equilíbrio entre a função de *fitness* das soluções encontradas e a sua diversidade.

Ao contrário do que aconteceu com outras metodologias de neuroevolução, que evoluíam redes com topologias fixas ou com topologias aleatórias, a metodologia NEAT foi a primeira a efetuar o seu processo evolutivo a partir de uma simples população de redes neuronais artificiais, alcançando a sua complexificação a cada geração. Com este tipo de evolução de redes, as topologias utilizadas não necessitam ser conhecidas antecipadamente.

Esta é uma metodologia que se baseia em três princípios fundamentais, que funcionam em simultâneo de forma a efetuar uma evolução eficiente de topologias de redes e respetivos pesos de ligações sináticas. O primeiro princípio é a homologia. O NEAT codifica cada nó e ligação de uma rede num gene. Sempre que ocorre uma mutação o resultado é um novo gene, que irá receber um marco histórico. Os marcos históricos são usados para associar genes homólogos durante a fase de cruzamento, assim como definir operadores de compatibilidade.

O segundo princípio consiste na proteção de inovação. Os operadores de compatibilidade são usados no processo evolutivo de forma a preservar a diversidade de soluções inovadoras e prevenir o cruzamento entre genomas incompatíveis.

E por fim, o terceiro princípio que consiste no facto de a evolução realizada no NEAT começar a partir de populações com estruturas mínimas. Através de mutações estruturais e cruzamentos entre redes são adicionados novos nós e ligações na população em causa, resultando num crescimento gradual designado por processo de complexificação. Inovações topológicas são distinguidas pelo seu potencial através da proteção, mencionada anteriormente, que lhes é atribuída em relação ao resto da população.

Devido a que apenas as estruturas mais úteis sobrevivem a longo termo, as estruturas otimizadas tendem a ser as mínimas indispensáveis para a resolução do problema.

2.4 Desenvolvimento de Padrões

Nesta secção são descritas as características gerais dos padrões base existentes na natureza de modo que seja possível descrever como estes podem ser replicados de forma objetiva através de funções matemáticas em ambientes virtuais (Stanley, 2007)

Repetição

Desde as unidades mais simples de um organismo até às mais complexas, existem detalhes que ocorrem inúmeras vezes. A repetição num fenótipo é também designada por auto similaridade (Bantley and Kumar, 1999). Em redes neuronais artificiais, este tipo de padrão pode ser alcançado através de funções periódicas e modulares.

Repetição com variação

É frequente verificar-se em detalhes de fenótipos a existência de repetições de forma variável. No ser humano cada vértebra da coluna é idêntica, no entanto, estas apresentam diferenças quanto às suas morfologias e proporções (Zigmond et al.1999). A repetição com variações é abundante na natureza, e pode ser replicada em redes neuronais artificiais através de funções periódicas e modulares.

Simetria

Frequentemente a repetição ocorre através da simetria, da mesma forma que o lado esquerdo e direito do corpo humano apresentam uma simetria bilateral. Este tipo de padrão pode ser representado em redes neuronais artificiais através de funções sinusoidais e gaussianas.

Assimetria

De uma forma geral, é frequente a observação de assimetrias em estruturas biológicas. Este tipo de padrão é uma característica comum de repetição com variação. O corpo humano apesar de aparentemente ser simétrico, apresenta diferenças significativas. Nomeadamente, alguns órgãos apenas existem num lado, e entre duas mãos semelhantes uma delas é predominante em relação a outra. Este tipo de padrão pode ser alcançado em redes neuronais artificiais através de funções modulares.

Regularidades elaboradas

Ao longo de várias gerações as regularidades vão sendo mais elaboradas e exploradas (Stanley et al. 2004). Por exemplo, a simetria bilateral das barbatanas de um peixe nos seus primórdios da evolução tornaram-se em braços e pernas de um mamífero, apresentando algumas das mesmas regularidades (Raff, 1996). Este tipo de padrão pode ser alcançado em redes neuronais artificiais através de funções gaussianas e sinusoidais.

A secção seguinte faz a descrição de uma variação de redes neuronais artificiais que permite a utilização e cruzamento das funções matemáticas anteriormente mencionadas, permitindo que sejam alcançados resultados com um nível de complexidade mais elevado.

2.5 *Compositional Pattern Producing Networks (CPPN)*

As Redes Neuronais Artificiais (RNA) pertencem a um paradigma de processamento de informação inspirado na forma como os neurónios do cérebro humano processam a informação. Estas redes são compostas por elementos de processamento interligados, equivalentes a neurónios, que trabalham de forma síncrona por forma a resolver um problema específico. As RNA têm, entre outras aplicações, a capacidade de identificação de padrões, de predição e classificação através de um processo de auto-aprendizagem.

As redes Compositional Pattern Producing Networks (CPPN) (Stanley, 2006; Stanley, 2007) são uma variante de RNA. A distinção entre estes dois tipos de rede verifica-se na forma como aplicam as suas funções de ativação. Enquanto que em RNA apenas são usadas funções de ativação de forma unitária, numa rede do tipo CPPN são usados grafos de funções de ativação que combinam diferentes operadores.

Neste grafo direcionado cada nó corresponde a uma função de ativação. Cada um destes nós têm como objetivo disponibilizar características que possam ser exploradas ao longo da sequência de evolução de imagens. Dado que esta rede pode representar qualquer combinação de funções matemáticas básicas, pode de igual forma gerar qualquer tipo de padrão.

Cada rede CPPN tem como output os atributos dos componentes de um fenótipo em diferentes localizações geométricas. Este resultado é obtido através do cruzamento de funções que, entre outras características, têm a possibilidade de criar regularidades, simetrias, assimetrias e/ou repetições com ou sem variações (Clune et al. 2011). A rede CPPN opera em todo o espaço de possíveis inputs (coordenadas de pixéis), de forma a poder representar uma imagem como um todo.

A estrutura do grafo e os pesos de ligações entre cada nó representam como as funções estão compostas para processar cada coordenada de input. O valor de output de um nó do grafo é multiplicado pelo peso da conexão de input do nó consequente. Se existirem vários inputs para um mesmo nó, então o nó em causa fica associado a um peso correspondente à soma de todas as conexões estabelecidas (Secretan et al., 2011)

Com o uso deste tipo de rede, as imagens obtidas são constituídas sequencialmente coordenada a coordenada. Isto porque, o output de uma rede CPPN é gerado pixel a pixel. Na figura 2.5 é apresentada uma esquematização deste processo.

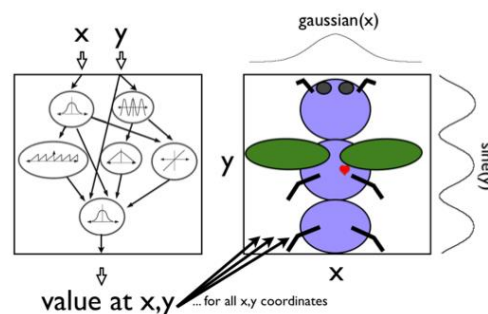


Fig. 2.5 – Combinação de funções matemáticas na rede CPPN (fonte: Clune (2011)).

Já foi comprovado que redes do tipo CPPN são uma poderosa ferramenta no que respeita à complexificação de imagens quando usadas em conjunto com o NEAT (Stanley, 2006; Stanley, 2006). Um exemplo de um processo evolutivo constituído a partir desta metodologia, pode ser visto na figura 2.6.



Fig. 2.6 – Exemplo de evolução de imagens no *Picbreeder* original (fonte picbreeder.org)

O algoritmo que evolui redes CPPN através da metodologia NEAT é designado por CPPN-NEAT (Clune et al. 2011; Stanley, 2006). Esta é uma extensão do NEAT que inclui um campo adicional para especificar que funções de ativação que se pretendem usar, ao contrário do que acontece originalmente no NEAT, onde apenas são incluídas camadas escondidas com funções sinusoidais. Quando nenhuma função é especificada e um nó é criado é-lhe atribuído aleatoriamente uma função de ativação de entre um conjunto de funções canónicas (ex, gaussianas, sinusoidais, funções periódicas).

Esta extensão providencia de igual forma funções de distância que têm como objetivo verificar a compatibilidade entre redes. Estas funções incluem um argumento adicional que efetua uma verificação quantitativa e qualitativa das funções de ativação não coincidentes, verificando se as redes são de espécies semelhantes. Desta forma, as diferenças verificadas entre funções de ativação nas redes CPPN podem sentenciar o seu cruzamento. Este é um mecanismo que tem por objetivo preservar a diversidade de soluções inovadoras. Dado que o CPPN-NEAT é uma evolução de uma metodologia já existente, providencia uma plataforma fiável para o estudo de evolução de imagens complexas.

2.6 *Picbreeder*

Picbreeder (Secretan et al., 2008; Secretan et al., 2011; *Picbreeder*: www.picbreeder.com) é uma comunidade online na qual os utilizadores têm a possibilidade de evoluir e partilhar imagens, e mais importante, continuar a evolução de imagens alcançadas por outros utilizadores. Tal como a nível biológico a evolução neste sistema não tem fim. Desta forma, as imagens podem ser infinitamente complexificadas, potenciando a descoberta de imagens com características impares. Este processo tem como base um algoritmo que concilia a metodologia *NeuroEvolution of Augmenting Topologies* (NEAT) (Stanley and Miikkulainen, 2002a, Stanley and Miikkulainen, 2002b; Stanley et al. 2003; Green, 2004) e redes Compositional Pattern Producing Networks (CPPN) (Stanley, 2006; Stanley, 2007). Ao contrário do que acontece atualmente com outros sistemas de computação evolucionária interativa, neste sistema a diversidade de imagens prolifera.

De modo a inicializar o processo de evolução, o utilizador efetua uma seleção a partir de um conjunto de 15 imagens candidatas de forma a constituir uma nova geração. Este

processo de seleção de imagens é designado por *scratching* (Stanley, 2010). O processo de *scratching* é realizado em todas as gerações, e tem como principal intuito dar ao utilizador a possibilidade de conduzir a sua própria evolução.

Quando o utilizador se sente concretizado com a imagem evoluída, poderá publicá-la no site do *Picbreeder* (*Picbreeder*: www.picbreeder.com), de forma a permitir que toda a comunidade envolvida a possa apreciar e, eventualmente, dar continuidade a sua evolução de forma a permitir que se alcancem *designs* mais complexos e apelativos (Fig. 2.7). Este processo é designado por *branching* (Stanley, 2010). Todas as imagens publicadas são meros pontos de partida para futuras evoluções por parte de outros utilizadores.



Fig. 2.7: Exemplo de um conjunto de imagens evoluídas no site *Picbreeder* (fonte: picbreeder.org).

Devido às capacidades evolutivas inerentes a este sistema, imagens com um nível significativo de complexidade podem ser alcançadas em apenas algumas dezenas de evoluções. Este facto deve-se ao nível de complexificação imposto pelo algoritmo NEAT-CPPN, no qual se baseia todo o sistema. O tipo de evolução implícita a este sistema, é uma evolução colaborativa de acordo com a intuição de cada utilizador envolvido. Por esta razão, não é possível aplicar o mesmo algoritmo de forma automatizada de modo a recriar algo que não segue um padrão coerente, e que é induzido pela intuição humana.

As imagens de maior interesse geradas a partir deste sistema são alcançadas de forma involuntária. Em nenhuma etapa do processo evolutivo uma imagem corresponderá exatamente à imagem que lhe deu origem, embora possam existir algumas semelhanças. Esta aproximação irá depender do nível de *fitness* que os intervenientes no sistema atribuírem às imagens selecionadas, e da probabilidade de mutação associada.

Os intervenientes no sistema têm à sua disposição a cada geração novos espaços de oportunidades passíveis de serem explorados. Desta forma, poder-se-á concluir que existe uma infinidade de imagens com potencial que ficarão por desvendar, isto porque as combinações de imagens candidatas a cada geração são significativamente elevadas.

Como extensão a este tipo de sistema poderá ser mencionado o algoritmo *Novelty* como forma de garantir a novidade a cada geração. Esta é uma extensão já concretizada por

Stanley (Lehman and Stanley, 2011). A evolução de formas a três dimensões é outro caminho a percorrer como extensão do *Picbreeder* original. Este tipo de sistema já começou a ser aprofundado por alguns investigadores, nomeadamente, por Clune (Clune and Lipson (2010)).

Capítulo 3

Evolutionary Picture Designs made by

Artificial Ants

Neste capítulo são apresentados 3 sistemas de arte evolutiva interativa, não colaborativa, baseada em formigas artificiais. Estes sistemas possuem muitas semelhanças com o universo do *PicBreeder*: são exemplos de arte genética baseada no NEAT, em que se evoluem imagens, utilizando uma representação CPPN, mas não se realizam na Web nem foram desenhadas para serem compartilhadas por vários utilizadores de uma forma colaborativa.

Uma das diferenças, e a mais fundamental, tem a ver com a produção das imagens a partir das redes CPPN inspiradas no comportamento das formigas *Temnothorax albipennis*, mais propriamente no modelo utilizado pelos pintores de areia de Urbano (2010) para fazer uma renderização/transformação dos padrões produzidos diretamente pelas redes CPPN. O processo de representação de uma imagem através de uma rede CPPN é exatamente igual ao universo *Picbreeder*, mas foi considerado que as imagens possuem pontos transparentes e outros invisíveis ou opacos, sendo configurável a proporção e distribuição desses dois tipos de pontos pela imagem.

Os pontos transparentes deixam ver a cor do ponto da imagem CPPN por detrás e os pontos opacos escondem a imagem nesse ponto. Na verdade, esconder é pintar a imagem de uma cor branca com uma ligeira transparência, e assim, a imagem CPPN é pintalgada desta cor de acordo com a densidade de pontos opacos. As formigas virtuais vão habitar as imagens CPPN manchadas aleatoriamente com pontos de opacidade e vão começar o seu trabalho artístico transformador, escondendo e descobrindo pontos da imagem CPPN, de acordo com as afinidades de cor da espécie a que pertencem.

Os 3 sistemas apresentados de seguida foram desenvolvidos a partir da ferramenta de arte genética de Mattias Fagerlund (ficheiro .jar disponível em <http://sourceforge.net/projects/jcppn/>) que é uma variação do *PicBreeder*, que não é colaborativa nem para a Web.

3.1 Modelo Base - *Picbreeder Extender*

Interface de utilizador

A interatividade permite que a informação seja adaptada de acordo com as decisões e comportamentos do utilizador. Assim, a inclusão da interatividade com a aplicação permite que os utilizadores envolvidos recebam respostas do sistema como resultado das ações que realizam. Tanto as ações como as respostas são veiculadas através da respetiva interface.

Os comandos disponibilizados ao utilizador através interface da aplicação (fig. 3.1), são elementos convencionais disponibilizados de forma simplificada, de modo a que conduza a ações previsíveis, assegurando que os utilizadores desta plataforma sejam capazes de utilizar a aplicação sem necessitarem de qualquer treino. Na fase mais embrionária do desenvolvimento do modelo proposto, a interface disponibiliza apenas a possibilidade de selecionar, evoluir, e visualizar características específicas de uma imagem. Como complemento ao funcionamento do sistema, é ainda possível carregar imagens aleatórias para evolução, assim como gravar localmente as já evoluídas.

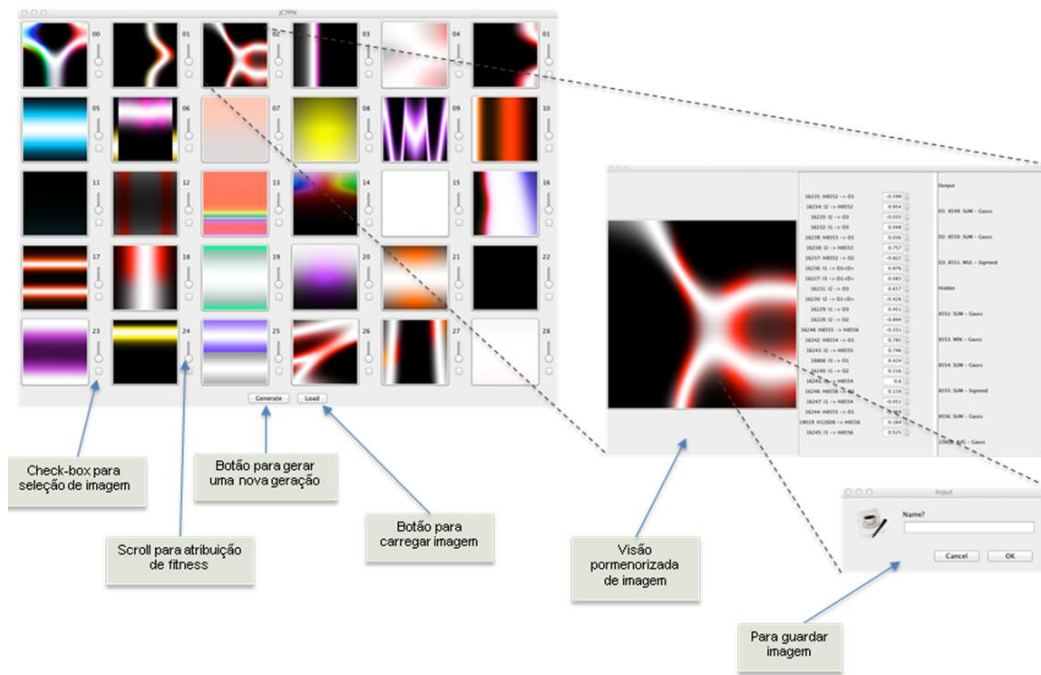


Fig. 3.1: Interface da aplicação base e suas funcionalidades.

Especificações do Sistema Evolutivo de Imagens

Modelo de cores

Na versão original do *Picbreeder* o modelo de cores usado foi o HSB, onde a cor base (*Hue*), saturação (*Saturation*) e brilho (*Brightness*) fazem a correspondência dos três parâmetros de output da rede CPPN. Alternativamente, o *Picbreeder* proposto por Mattias Fagerlund tira partido do modelo de cores HSL + *Alpha*. Neste modelo a cor base (*Hue*), saturação (*Saturation*), luminosidade (*Luminosity*), e transparência (*Alpha*) correspondem aos quatro parâmetros de output da rede CPPN. Apesar de o parâmetro *Alpha* não pertencer ao modelo HSL afeta os seus parâmetros como um todo. Através desta sinergia as cores alcançadas apresentam uma maior vivacidade (*luminosity*) com transições mais suaves (*Alpha*).

O modelo de cores HSL é um dos mais comuns entre os que têm representações cilíndricas. O seu modo de funcionamento consiste na reorganização da geometria RGB numa tentativa de gerar cores mais naturais, intuitivas e processualmente mais relevantes do que em representações cartesianas. O modelo HSL é aplicável em especificações de cores numéricas.

Ruído subjacente na construção de imagens

Neste modelo é usado o algoritmo *Perlin noise* de forma aleatória, de modo a embutir nas imagens geradas efeitos (ruído) semelhantes aos encontrados nos padrões de elementos da natureza, como fogo, fumo ou nuvens. Esta técnica tem a flexibilidade de poder ser usada em conjunto com funções matemáticas de forma a criar variações de texturas relacionadas.

Resultados

Nas experiências realizadas no modelo base foram considerados diferentes cenários de teste. Para cada um deles foram exploradas diferentes formas de ao longo de várias gerações de um processo evolutivo determinar que tipo de descendência poderia uma imagem ou conjunto de imagens dar origem.

Ao serem selecionadas imagens com características específicas para constituir uma nova geração, as imagens que lhes descendem são por norma constituídas pelo mesmo tipo de funções e operadores, ainda que possam diferir em quantidade. Quando diferem, os padrões das imagens em causa apresentam variações no tipo de padrão gerado. O nível de proximidade das imagens geradas com as imagens selecionadas pelo utilizador, é definido pela respetiva ponderação de *fitness* estabelecida na geração anterior. Neste sistema as imagens geradas nunca são exatamente iguais às imagens antecedentes, dado que são sujeitas a complexificações ao longo do processo evolutivo. Desta forma, apresentam sempre pequenas disparidades em nuances do seu fenótipo.

Na aleatoriedade de atribuição de grafos de funções de ativação às redes CPPN, tem que existir algum nível de relacionamento com os grafos de funções de ativação das imagens selecionadas na geração anterior. Isto porque a atribuição de funções a cada nó da rede CPPN só é completamente aleatória quando é gerada uma primeira geração.

Quando são analisadas as especificidades de uma imagem menos semelhante, sujeita a mutações, verificamos que as suas funções de ativação diferem em tipo e número. Ainda que maioritariamente, pelo menos uma das funções de ativação da imagem original seja preservada. Este facto deve-se a que o nível máximo de mutação imposto no grafo de funções de ativação de uma rede CPPN é sempre parcial, fazendo com que

sejam preservadas algumas características das imagens originais, excetuando casos específicos.

A exceção à regra acontece, quando o grafo de funções de ativação da rede CPPN inclui apenas um nó, e o nível de mutação imposto é máximo. Nesta situação o padrão da imagem é afetado como um todo. Ao longo de um processo evolutivo poder-se-ão desvendar ramificações de imagens completamente distintas da génese das imagens selecionadas na primeira geração, desde que o utilizador opte por explorar espaços de possibilidades sujeitos a mutações.

Discussão

As imagens evoluídas neste sistema incorporam uma grande variedade de estilos e detalhes, reafirmando que as redes CPPN são uma representação flexível da metodologia NEAT, que resulta num algoritmo de grande eficiência. Esta sinergia garante que exista um aumento contínuo da complexidade das imagens, possibilitando que sejam descobertos novos caminhos de possibilidades a cada geração.

Um das possíveis razões porque as imagens geradas neste modelo ainda não expressam a complexidade e variedade verificada em artefacto artísticos é porque a maior parte das imagens evoluídas são compostas por redes CPPN com apenas algumas dezenas de nós e pouco mais de uma centena de ligações sinápticas. Provavelmente as redes neuronais artificiais precisarão de uma maior complexificação nas suas ordens de grandeza de forma a poderem expressar nuances mais pormenorizadas. No entanto, o uso de várias redes CPPN complexas podem não garantir imagens visualmente apelativas.

Efetuada uma análise aos pontos fortes e fracos do funcionamento deste sistema revelam-se algumas inconsistências. Apesar de toda a complexidade imposta no processo evolutivo, a evolução é um processo lento que requer a participação ativa dos seus utilizadores. No entanto, o sistema possibilita que sejam produzidas imagens que os seus utilizadores reconhecem como tendo alguma qualidade. Desta forma, a inclusão de formas de compensação motivacional aos utilizadores durante o processo evolutivo deverá ser um aspeto a considerar neste tipo aplicação. A exploração de espaços de possibilidades deve ser aliciente e motivante para os seus utilizadores.

3.2 Modelo 1 – *Working Ants*

Contextualização

No caso das pinturas de areia, existe um molde ou *template* para cada espécie, sendo o *template* um círculo, definido através do centro do ninho, do raio e da cor. O *template* não está já construído mas é uma força que orienta a construção. A imagem global será de círculos imperfeitos e como há a possibilidade de ter espécies com templates da mesma cor, é natural que exista competição pelos grãos de areia. Vão existir formigas atarefadas a construir os seus ninhos e a destruir os ninhos das formigas das outras espécies.

No presente modelo, é feita uma representação semelhante ao método do *Picbreeder* original mas, sobre as imagens CPPN é distribuído um conjunto de pontos opacos ao acaso que depende da respetiva densidade definida através da interface aplicacional. Este parâmetro é fixo ao longo da evolução de uma geração. São os pontos opacos que vão permitir que as formigas desempenhem as suas atividades sobre as imagens. Os seus atos tapam e destapam, escondendo e mostrando diferentes pontos dessa imagem. Podemos dizer que o processo de construção da imagem 2D pelas formigas é orientada por um template que, ao contrário do mundo dos círculos, já é parcialmente visível. Há pontos visíveis desse template logo na imagem inicial com que as formigas partem para a sua actividade transformadora, dependendo da proporção da opacidade.

Cada espécie de formigas tem uma cor central e um intervalo de tolerância centrado nessa cor. Sendo assim, as formigas trabalham para mostrar as cores da imagem CPPN original com que possuem uma afinidade e esconder as com as quais não têm qualquer afinidade. Sendo assim, o efeito de template de cada espécie é dado pelas zonas de cores afins na imagem CPPN original.

Especificação dos agentes envolvidos

Espécies de formigas

No presente modelo as formigas artificiais, são envolvidas no sistema de acordo com a densidade estabelecida através da interface aplicacional. A densidade máxima de formigas permitida num processo evolutivo corresponde a 20% da área total de uma imagem. Cada formiga ocupa um único ponto da imagem de forma exclusiva. Para a densidade total de formigas envolvidas são propostas cinco espécies diferentes que se repartem de forma equitativa, e que contemplam possibilidades comportamentais semelhantes. Cada espécie é definida pelo utilizador e distingue-se pela sua cor. A sua distribuição no meio envolvente é homogénea e proporcional à densidade de agentes estabelecida.

Cada colónia de formigas procura dar visibilidade às zonas de uma imagem correspondentes à sua cor de espécie. No entanto, os utilizadores da aplicação têm a possibilidade de estabelecer um intervalo de amplitude cor, que permite que a distância entre a cor do pixel e a cor da espécie de formigas possa ser manipulada, fazendo com que uma colónia de formigas possa dar visibilidade a pontos da imagem que não correspondem diretamente à sua cor de espécie, mas que se enquadram na amplitude de cores definida.

Quando não é definida uma cor de espécie significa que não existe qualquer tipo de restrição nas tarefas desempenhadas pelas formigas artificiais. Desta forma, interagem com todos os pontos opacos de forma a dar visibilidade à imagem como um todo, sem qualquer tipo de limitação. Este processo constitui a forma mais célere de dar visibilidade às imagens geradas, no entanto, não constitui qualquer forma de arte computacional realizada por agentes virtuais.

Afinidade de cores

Existe todo um espectro de cores com o qual as formigas envolvidas na aplicação podem interagir. No entanto, as cores que definem cada espécie são cores únicas que não contemplam qualquer amplitude. Desta forma, o intervalo de afinidade de cor representa um parâmetro que o utilizador pode configurar de modo a permitir que cada espécie de

formigas possa interagir com uma gama de cores mais alargada. Este parâmetro é dado pela seguinte formula,

$$Rc = | Hp - He | \quad (8)$$

Onde H_p corresponde ao valor de cor base do pixel, e H_e ao valor de cor base da espécie de formigas que se encontra sobre o pixel. A cor base de ambas as partes, corresponde ao parâmetro hue do modelo de cores HSL.

O intervalo de cor pode assumir sete valores distintos que são incrementados ao parâmetro de cor base (hue) da espécie de formigas em causa. O valor máximo que este parâmetro pode assumir corresponde, no espectro de cores, a um ângulo de 72° , o que implica que o número máximo de espécies envolvidas não seja maior do que cinco. Caso contrário, quando todas as espécies de formigas estivessem envolvidas num mesmo processo evolutivo, poderiam existir espécies que iriam interagir com as mesmas cores que algumas das suas rivais. Desta forma, as cores base definidas para cada uma das espécies de formigas encontram-se separadas no espectro de cores do modelo HSL por um ângulo de 72° . Somente desta forma, se consegue abranger toda a gama de cores garantindo que não sejam repetidas cores entre espécies.

Estado

De acordo com o modelo comportamental usado nos modelos propostos por Urbano [33] e Greenfield [] as formigas envolvidas na evolução de imagens apenas se podem encontrar em dois estados distintas. Quando não transportam qualquer ponto são definidas como agentes sem carga. Neste caso, as formigas procuram de forma aleatória (9) dar visibilidade a um ponto tapado da imagem que se encontre sobre um pixel cuja distância ao centro de cor da sua espécie seja menor ou igual ao intervalo de afinidade de cor definido pelo utilizador. Caso seja bem-sucedida torna-se uma formiga com carga.

$$P(r) = P_M (1 - (1 / 1 + \tau | Hue \text{ pixel} - Hue \text{ espécie} |)) \quad (9)$$

De forma inversa, quando uma formiga transporta um ponto opaco é definida como um agente com carga. E neste caso, tapa um ponto da imagem (10) que se encontre sobre um qualquer pixel cuja cor original se encontre fora da amplitude de cores abrangidas

pelo intervalo de afinidade de cor da espécie. Caso seja bem sucedida torna-se uma formiga sem carga.

$$D(r) = D_M / 1 + \tau | \text{Hue pixel} - \text{Hue espécie} | \quad (10)$$

Quando uma formiga anda de forma aleatória significa que anda num sentido unidirecional e muda de direção de forma aleatória (fig. 3.2). Esta aleatoriedade é imposta de forma probabilística. Quando a probabilidade de vaguear unidirecionalmente é maior que 50%, então de forma alternada é imposta uma probabilidade direcional. Cada formiga fica direcionada na imagem de acordo com a ultima probabilidade aplicada (esquerda, direita), considerando que o sentido unidirecional faz a formiga deslocar-se no sentido em que se encontra. Cada formiga só poderá carregar um ponto opaco de cada vez, e cada ponto opaco pode ficar amontoando em cima de outros.

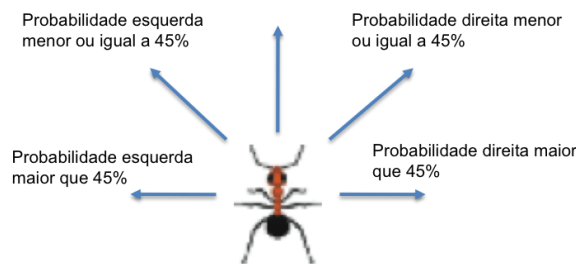


Fig. 3.2: Aleatoriedade direcional de uma formiga.

Modelo Artístico

O modelo artístico imposto neste sistema encontra-se estruturado de modo a que as formigas envolvidas efetuem as suas tarefas de acordo com as especificações definidas pelo utilizador. Todas as parametrizações impostas através da interface aplicacional são parâmetros fixos ao longo da evolução. Através da interface aplicacional o utilizador tem a possibilidade de definir o número e tipo de espécies envolvidas a cada geração da evolução de imagens. As espécies envolvidas distinguem-se pela cor que lhes é atribuída. Existem cinco cores de espécies passíveis de serem configuradas, nomeadamente, azul, vermelho, verde, roxo e amarelo.

Cada espécie de formigas realiza as suas atividades mediante a configuração dos parâmetros fixos correspondentes às probabilidades tapar ou destapar um ponto da imagem, densidade de pontos opacos, densidade de agentes envolvidos, tempo de simulação e intervalo de cor da espécie de formigas.

A densidade de pontos opacos que surgem sobre cada imagem é uma configuração fundamental à eficiência de execução das tarefas desempenhadas pelas formigas. Estes pontos apresentam uma cor branca com um ligeiro nível de transparência, de modo a que o utilizador tenha preceção das morfologias da imagem base. Sempre que seja definida uma densidade de formigas maior do que zero, implicará que estas dependam da existência dos mencionados pontos opacos para a execução das suas tarefas. Desta forma, quando a densidade destes pontos é muito baixa tornar-se muito difícil ou mesmo impercetível verificar-se qualquer tipo de atividade por parte das formigas. O comportamento das formigas num ambiente isento de pontos opacos será vaguear de forma aleatória durante todo o período estabelecido para a sua atividade.

Na figura 3.3 é possível visualizar-se uma imagem original CPPN com quatro variantes manchadas com diferentes densidades de opacidade.



Fig 3.3: Diferentes densidades de opacidades com transparência sobre uma imagem CPPN (100%, 80%, 40%, 20%)

Para que as tarefas executadas pelas formigas não sejam concretizadas de forma repetitiva e sequencial, o tempo de simulação das tarefas que desempenham sobre as imagens é um parâmetro configurável. Este será o parâmetro que irá definir o tempo que as formigas despenderão para dar visibilidade à sua cor de espécie sobre as imagens a cada geração. Assim, a densidade de pontos com uma determinada cor que é tornada visível sobre uma imagem ao longo de uma geração, oscila de acordo com esta parametrização.

O processo de definição temporal funciona da seguinte forma. Cada pixel de uma imagem que entra como input numa rede CPPN para constituir uma nova geração, é inspecionado com uma probabilidade proporcional ao tempo definido pelo utilizador. Essa probabilidade corresponde à densidade total de pixéis da imagem que vão ser verificados. Este processo serve para investigar se o pixel em causa tem uma cor

correspondente à zona de afinidade de cores de uma das espécies de formigas envolvidas, e se o pixel em causa corresponde à posição de uma formiga.

Em caso afirmativo, verifica o seu estado e altera-o se existirem condições para isso, e consequentemente move a formiga para outro pixel de forma probabilística. Quanto maior for a densidade de pixéis inspecionados, maior será a probabilidade de um maior número de formigas efectuarem as suas tarefas na constituição de uma nova geração, e consequentemente maior será a visibilidade do seu trabalho. Os parâmetros de input na rede CPPN são variáveis ao longo da constituição de uma geração.

Dado que o número de combinações de espaços de possibilidades neste sistema é muito elevada, esta parametrização representa mais uma forma de exploração dos mesmos. Isto porque as formigas em diferentes etapas da evolução de uma imagem podem constituir trilhos de cores distintos. A densidade de pontos a que as formigas já tenham dado visibilidade numa determinada imagem, mantêm-se em gerações futuras, desde que as imagens descendentes tenham pelo menos uma densidade de pontos, na respetiva amplitude de cores, igual ou superior. Caso contrário, a densidade de pontos descobertos pelas formigas é reduzida ou mesmo perdida.

A forma como os trilhos de cores evoluem sobre as imagens baseia-se no seguinte processo. Numa geração, as imagens candidatas são seleccionadas pelo utilizador. Para cada uma dessas imagens são definidos os parâmetros que afetam, quantitativamente e qualitativamente, as atividades das formigas. Quando o utilizador inicializa a evolução, as formigas efetuam as suas tarefas sobre as imagens candidatas. Após terminar o tempo de simulação, as imagens com o trabalho concretizado pelas formigas são então sujeitas ao processo evolutivo, que implica a passagem dos seus parâmetros por um novo grafo de funções de activação da rede CPPN. O resultado é um conjunto de imagens, eventualmente, relacionado com as imagens antecedentes e com o respetivo progresso do trilho de cores.

Resultados

As simulações realizadas com este modelo demonstraram que a abundância de formigas e tempos de execução longos são um importante fator no processo de constituição dos trilhos de cores. Apesar da auto-organização das colónias de formigas na elaboração das suas tarefas ser dinâmica, adaptando-se constantemente às morfologias das imagens ao

longo de gerações, a execução das mesmas é finita ao contrário do que acontece com a emergência de imagens.

Foi comprovado que em processos evolutivos que apenas consideram uma espécie, a eficiência com que os trilhos das formigas são constituídos é significativamente maior. Tal facto deve-se à ausência de competição entre espécies. Quando são envolvidas mais do que uma espécie de formigas o tempo de concretização das suas tarefas como um todo sobe proporcionalmente ao número de espécies envolvidas.

Dado que o trabalho executado pelas formigas se baseia num modelo comportamental probabilístico, quando são desbravados trilhos de cores sobre uma imagem, estas apresentam sempre pontos opacos que não foram removidos da respetiva área. Mesmo com uma probabilidade máxima de largar pixéis opacos sobre uma cor diferente da cor de espécie em causa, existe sempre uma pequena margem de erro que leva as formigas a largarem os pontos opacos nas zonas erradas da imagem. Este erro reflete-se no quantidade de pontos opacos que surgem sobre os trilhos de cores.

A densidade de pontos opacos que cobrem as imagem a cada geração é um parâmetro fundamental ao trabalho desempenhado pelas formigas (fig. 10). Quanto maior for esta densidade maior será o nível de visibilidade dos trilhos de cores formados pelas espécies envolvidas no processo evolutivo. Quando num processo evolutivo se reduz a densidade de pontos opacos, a densidade de pontos tornados visíveis mantém-se em futuras gerações desde que as imagens futuras preservem a mesma densidade de pixéis com a respetiva cor. Este facto verifica-se quando se faz variar a densidade de pontos opacos ao longo de um processo evolutivo.

Os intervalos de cor permitem que sejam abrangidas diferentes amplitudes de cores e que sejam concretizadas transições de cores mais suaves nos trilhos compostos pelas formigas. Significando que, podem possibilitar que trilhos compostos por diferentes colónias de formigas se fundam de forma a constituírem um *design* próprio. Quando ocorre uma situação deste tipo as diferentes espécies de formigas não interagem com cores comuns, cada zona do trilho de cores é única e exclusivamente trabalhada por uma espécie de formigas.

Os parâmetros que afetam as fórmulas probabilísticas do modelo comportamental têm impacto nas tarefas realizadas pelas formigas. Quando é estabelecida uma probabilidade

máxima de apanhar pontos opacos e uma probabilidade mínima de os largar, as formigas rapidamente dão visibilidade a uma densidade de pontos na imagem igual à densidade da sua própria colónia, no entanto o seu trabalho não apresentará qualquer tipo de progressão. De forma inversa, se for definida uma probabilidade máxima de largar pontos opacos e uma probabilidade mínima de os agarrar, as formigas vão simplesmente vaguear de forma aleatória ao longo da imagem. De forma a minimizar as discrepâncias entre estes dois parâmetros, devem ser atribuídas probabilidades semelhantes de forma a que não exista uma percentagem de formigas sem qualquer tipo de coordenação entre estados a cada instante do processo evolutivo.

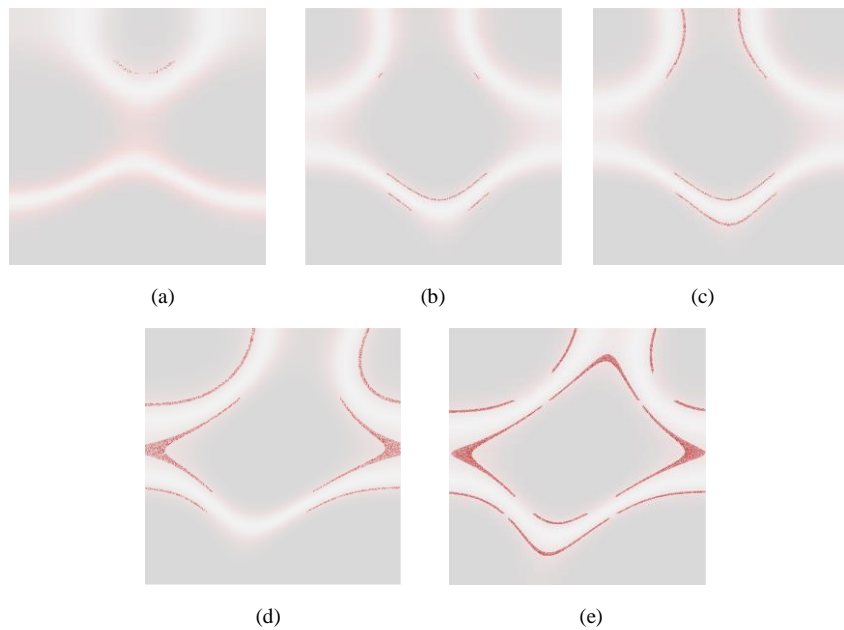


Fig. 3.4: Exemplo de processo evolutivo de imagens. Cada uma das imagens representa uma etapa do processo evolutivo, correspondente a uma geração (a), três gerações (b), cinco gerações (c), oito gerações (d), e dez gerações (e).

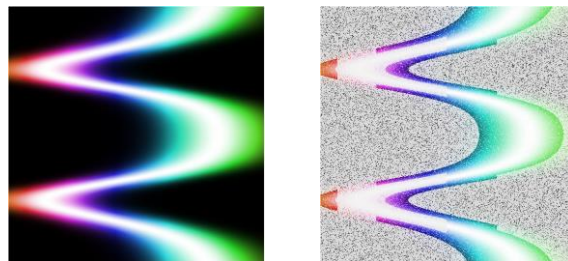


Fig. 3.5: Par de imagens correspondentes, respetivamente, à imagem original do lado esquerdo e evolução completa do lado direito. As parametrizações usadas foram três espécies (ver, vermelho, azul), densidade de pontos opacos 90%, densidade de formigas 100%, tempo de simulação 9, probabilidade de agarrar e largar de 100%, e intervalo de afinidade de cores de 0,20.

Discussão

As formigas que atuam sobre a emergência de imagens permitem que sejam constituídos trilhos de cores de forma evolutiva ao longo das várias gerações, que representam uma forma de exploração de espaços de possibilidades nas imagens geradas. Estes trilhos compõe *designs* abstratos sobre os quais o utilizador não qualquer tipo de controlo, visto que apenas tem a possibilidade dar continuidade a tendências evolutivas e configurar parâmetros que afetam os agentes envolvidos e a eficiência evolutiva. As formas que os trilhos adquirem dependem unicamente do modelo comportamental proposto e da emergência de imagens subjacentes.

Apesar do processo evolutivo das imagens sobre as quais as formigas atuam não ter fim, as suas tarefas são finitas. Assim, a partir do momento em que toda a amplitude de cores de uma espécie sobre uma imagem é tornada visível, o utilizador do sistema apenas poderá redirecionar a sua evolução numa tentativa de manipular os *designs* gerados pelos trilhos das formigas. Se a densidade das cores dos pixéis em causa se mantiverem, a densidade de pontos visíveis mantém-se, se diminuir a densidade perde-se, caso aumente as formigas dão continuidade ao seu trabalho.

Num processo evolutivo onde apenas é definida uma cor de espécie a eficiência com que os trilhos de cores surgem sobre as imagens é maior do que quando existe competição. Em ambiente competitivo, com duas ou mais espécies envolvidas, a evolução é mais lenta devido a que o progresso das tarefas executadas por uma determinada espécie de formigas fica sujeito às atividades executadas por uma espécie rival.

Quanto maior for o número de espécies de formigas envolvidas, maior será a dificuldade de evolução dos trilhos de cores. Poderão mesmo ser encontrados domínios de decepção, correspondentes a uma evolução que se encontra estagnada. Um domínio deste tipo representa uma etapa da evolução em que não é possível fazer evoluir todos os trilhos de cores em simultâneo, e nestes casos o utilizador terá que optar por dar prioridade a uma determinada cor de espécie, em detrimento de outras.

3.3 Modelo 2 – *Working Ants in Spaces*

Contextualização

No caso do modelo em que o trabalho das formigas é elaborado sobre a totalidade da área de uma imagem, o *template* imposto coincide com a emergência imagens CPPN, estando apenas restringido pelo intervalo de amplitude de cor. Esta restrição faz com que o seu *template* seja parcial em relação ao original. Quando sobre este modelo são estabelecidas áreas de atuação específicas, o *template* usado corresponde a mais um nível de restrição do *template* original. De igual forma, este é um *template* já parcialmente visível, onde os trilhos de cores são constituídos em áreas pré-definidas. Uma das características das diferentes áreas do *template* mencionado, incide no facto de poderem ou não ser dinâmicas.

Da mesma forma como acontece quando as descendentes de imagens candidatas têm proporções diferentes de uma determinada cor, se o utilizador fizer variar as áreas onde as formigas atuam ao longo de um processo evolutivo, a densidade do trabalho desenvolvido poderá variar de acordo com as especificidades da área da imagem em foco. O facto de as formigas terem a possibilidade de desempenharem as suas atividades em áreas diferenciadas, fomenta a diversidade de *designs* que podem surgir sobre as imagens CPPN. O impacto visual que advém desta possibilidade contribui para a exploração de um novo espaço de possibilidades na emergência de formas em arte computacional.

Especificações de áreas

Cada espécie de formigas pode efetuar as suas tarefas em 5 áreas distintas (fig. 3.6). A localização de cada uma destas áreas pode ser estática ou dinâmica. Em qualquer uma das opções a área total de uma imagem é dividida em 5 áreas horizontais de forma proporcional. Cada espécie de formigas, a cada geração, pode atuar em quantas áreas o utilizador entender. Com esta funcionalidade, as diferentes espécies de formigas podem desempenhar as suas tarefas em áreas específicas de forma independente ou em ambiente competitivo.

Nas duas parametrizações de áreas de uma imagem as formigas conseguem atuar apenas num único território, em vários territórios, em ambiente competitivo ou de forma isolada. Quando não são definidas espécies, as formigas atuam nas áreas impostas sem qualquer tipo de restrição de afinidade de cores.

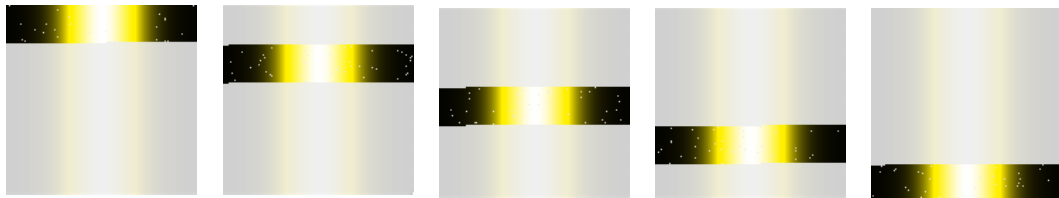


Fig. 3.6: Áreas de actuação estabelecidas sobre as imagens CPPN.

Resultados

Diversas configurações de atribuição de áreas sobre as imagens foram testadas com uma e mais espécies, em ambientes independentes e competitivos. Uma das principais conclusões alcançada ao longo dos processos evolutivos testados, foi que da mesma forma como acontece no modelo das formigas sem restrições, uma evolução sem competição apresenta uma eficiência evolutiva significativamente maior.

Nomeadamente, a forma mais célere de dar visibilidade a uma determinada área numa imagem, é quando não são definidas espécies de formigas. No entanto, quando se efetua uma comparação direta com o modelo anterior em termos de performance, verifica-se que neste modelo a evolução é mais longa e demorada dada a restrição de área. Apesar de existirem diferentes zonas de atuação, as formigas artificiais continuam a ser distribuídas de forma homogénea por toda a imagem CPPN.

A maior dificuldade em termos evolutivos advém da intervenção de várias espécies numa mesma área. Nestas situações a evolução simultânea de trilhos de cores é muito difícil de alcançar, isto porque num espaço de atuação reduzido a dimensão do trabalho concretizado é menor. Desta forma, uma pequena interferência nos pontos tornados visíveis por uma espécie tem um impacto maior em termos de percentagem de trabalho afetado. Mais uma vez é encontrado um domínio de decepção onde a evolução dos trilhos fica bloqueada. Assim, o utilizador tem que redirecionar a sua evolução para outros domínios de cores não proporcionais. Esta situação é mais evidente neste modelo restritivo.

As áreas definidas sobre as imagens podem ser manipuladas em posição e número. Quando são definidas áreas estáticas ao longo da evolução, existe a possibilidade de as realocar ou incrementar em zonas diferentes. De forma inversa, as áreas dinâmicas contemplam um comportamento constante de deslocamentos verticais ao longo de toda a evolução, possibilitam de igual forma alocação de formigas virtuais em mais do que uma área.

Quando ao longo de um processo evolutivo é desbravada a totalidade de um trilho de cores sobre uma imagem, a sua morfologia ao longo da evolução vai-se adaptando em conformidade com a imagem CPPN. A preservação dos pontos tornados visíveis dependerá da proporção do respetivo intervalo de afinidade de cores numa zona diferente da imagem ou numa geração futura.

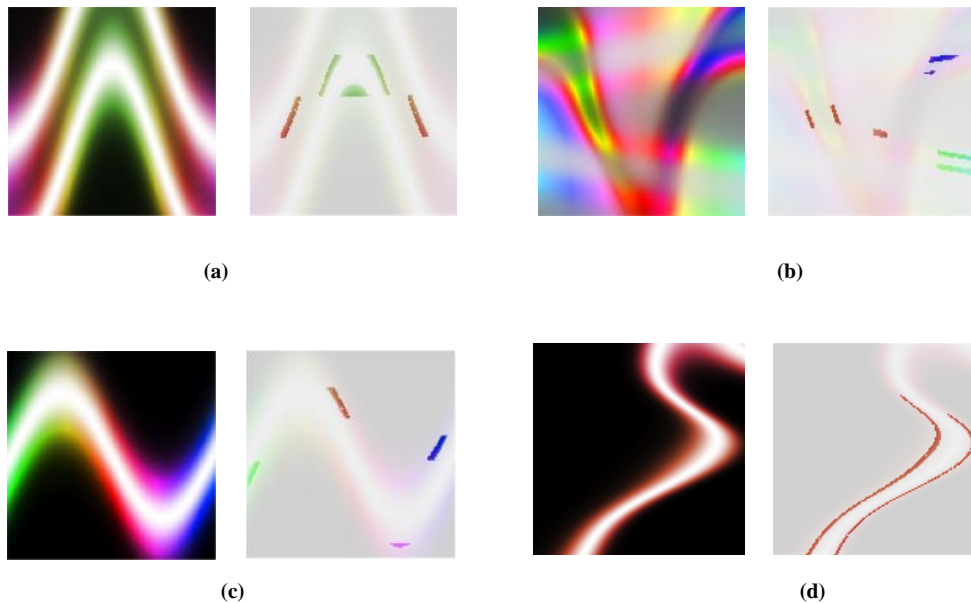


Fig. 3.7: Exemplo de resultados obtidos quando são estabelecidas áreas de atuação sobre as imagens CPPN num processo evolutivo. O par esquerdo corresponde à imagem final original, enquanto que o direito representa o resultado das tarefas das formigas sobre a imagem. No par (a) foram usadas duas espécies, duas áreas, densidade de pontos opacos de 100%, e um intervalo de cor de 0.11. No par (b) foram usadas três espécies, três áreas, densidade de pontos opacos de 100%, e um intervalo de cor de 0.11. No par (c) foram usadas quatro espécies, quatro áreas, densidade de pontos opacos de 100%, e um intervalo de cor de 0.11. No par (d) foi usada uma espécie, três áreas, densidade de pontos opacos de 100%, e um intervalo de cor de 0.08.

Discussão

O principal intuito da elaboração do presente modelo de áreas de atividade, é a constituição de uma nova forma de exploração de espaços de possibilidades sobre uma mesma imagem ao longo de um processo evolutivo.

Através dos resultados obtidos nas diversas experiências realizadas no presente modelo, tornou-se possível concluir que comparativamente com o modelo anterior, os comportamentos exteriorizados pelas formigas e respectivas inconsistências evolutivas são mais expressivas. Concretamente, este facto reflete-se na amplificação evolutiva que se obtém quando as formigas executam as suas tarefas em áreas restritas num ambiente ausente de competição. E de forma inversa, em ambientes competitivos, quando a evolução é mais complexa.

O aumento de complexidade evolutiva deve-se à menor dimensão do trabalho executado pelas diferentes espécies de formigas, e ao impacto que uma pequena retração da sua densidade reflete. Um possível método para evitar este inconveniente será a implementação de medidas de imunidade nos trilhos das espécies de formigas a invasões rivais.

O *template* imposto neste modelo pressupõe que as áreas estabelecidas para as atividades das formigas sejam lineares, visto que os *designs* compostos pelos trilhos de cores já têm a sua própria geometria dinâmica.

3.4 Modelo 3 – *Parameters Crossover*

Contextualização

Como extensão aos dois modelos já desenvolvidos, foi implementada uma nova funcionalidade ao sistema que permite que sejam concretizados cruzamentos de parâmetros de forma aleatória. Esta funcionalidade proporciona que sejam disponibilizadas a cada geração imagens com configurações específicas, de forma a disponibilizar ao utilizador uma maior diversidade de soluções.

Todos os parâmetros configuráveis do sistema estão envolvidos nesta funcionalidade, excetuando o número e tipo de espécies de formigas envolvidas. Existem duas opções de cruzamento de parâmetros, uma que influencia a atividade na imagem como um todo, e outra que contempla a aleatoriedade de atribuição de áreas de atuação. Quando numa geração se seleciona uma imagem candidata, as características das suas descendentes e visibilidade dos trilhos compostos pelas formigas, numa mesma geração, podem mudar abruptamente. Somente as morfologias das imagens CPPN mantêm a sua tendência evolutiva.

Especificações

Parâmetros fixos

Ao longo de um processo evolutivo existem diversos parâmetros que carecem de uma configuração manual, de forma a que as imagem alcancem características específicas impostas pelo utilizador. Estes parâmetros uma vez configurados mantêm-se inalterados em evoluções futuras até que sejam novamente manipulados. Os parâmetros fixos definidos pelos utilizador correspondem respetivamente à probabilidade de agarrar e depositar, densidade de formigas, densidade de pontos opacos, tempo de simulação, intervalo de afinidade de cor, número de espécies envolvidas, e número de áreas de atuação.

Cenários aleatórios

Existem dois cenários possíveis para a geração aleatória de parâmetros. A principal razão desta distinção incide na intenção de separar o modelo principal das formigas (“*Ant Work*”) do modelo que contempla a atribuição de áreas (“*Ant Work in Spaces*”). Todas as parametrizações que implicam probabilidades ou densidades têm uma oscilação entre os 50% e 100%, enquanto que o intervalo de afinidades de cores e tempo de simulação variam em toda a sua amplitude. Isto de forma a manter alguma agilidade e visibilidade nos processo evolutivos das formigas. O número e tipo de espécies envolvidas continuam a ser parâmetros definidos pelo utilizador.

Resultados

Com este modelo foram concretizadas várias experiências com os dois cenários de cruzamentos de parâmetros mencionados. Em cada um dos deles obtiveram-se

resultados dispares de acordo com as suas próprias especificidades, no entanto, de um ponto de vista funcional apresentaram características semelhantes.

Esta funcionalidade permite explorar a cada geração uma diversidade de espaços de possibilidades mais vasto do que o disponibilizado numa evolução tradicional, onde o utilizador apenas orienta as tendências evolutivas de acordo com as suas próprias configurações.

Em cada um dos cenários definidos, as imagens candidatas originaram ao longo do seu processo evolutivo descendentes com parametrizações específicas e constantes a cada geração, que permitiram influenciar o fluxo evolutivo imposto pelas tomadas de decisão do utilizador. Uma mesma geração de imagens pode ser constituída diversas vezes, sempre com parametrizações aleatórias de forma automatizada.

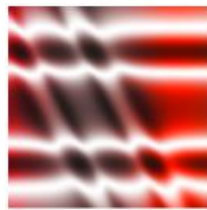


Fig. 3.8: Imagem original

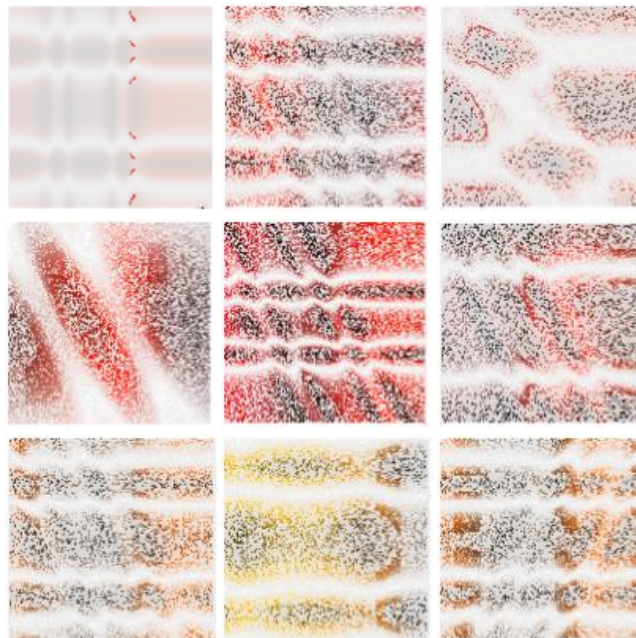


Fig. 3.9: Imagens com diferentes parametrizações obtidas em várias simulações de uma geração consequente da imagem original. O cenário usado de cruzamento de parâmetros não contempla áreas de atuação.

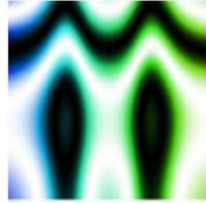


Fig. 3.10: Imagem original

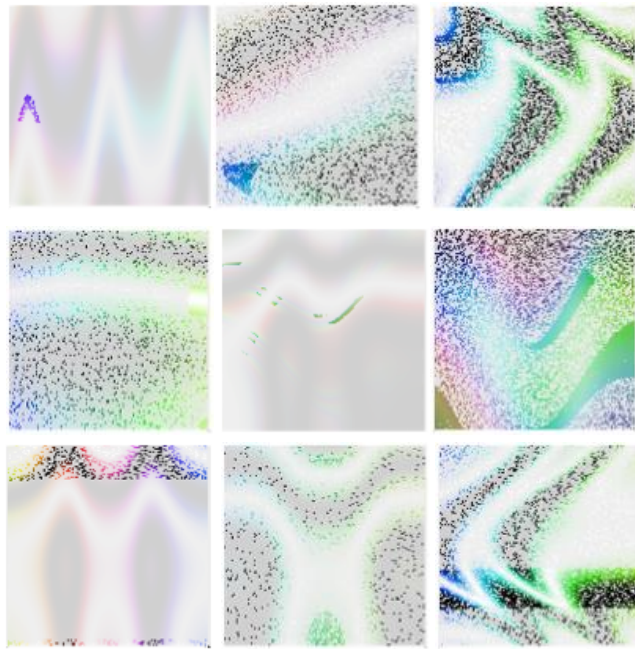


Fig. 3.11: Imagens com diferentes parametrizações obtidas em várias simulações de uma geração consequente da imagem original. O cenário usado de cruzamento de parâmetros contempla áreas de atuação.

Discussão

A funcionalidade proposta neste modelo ainda não foi explorada no âmbito de emergência de imagens 2D, desta forma é dado como um contributo para a descoberta de novos espaços de oportunidades sobre imagens CPPN.

Neste sistema, entre a aleatoriedade dos caminhos de possibilidades que as imagens podem seguir, é adicionada a aleatoriedade de espaços de possibilidades de execução do trabalho das formigas a cada geração através da variação dos principais parâmetros que afetam o seu trabalho. Este é um método que permite aumentar a imprevisibilidade dos padrões compostos pelos trilhos de cores das formigas. Como consequência, poderá ser constituída a cada geração, de forma aleatória e automatizada, uma eventual solução que permita contornar os problemas de domínios de decepção.

O facto de o utilizador a cada geração ser confrontado com parametrizações aleatórias, fora do seu controle, faz com que não existam “tendências” de configurações que limitem os resultados que podem ser alcançados. O cenário de cruzamento de parâmetros que contempla a definição de áreas de atuação é mais restritivo nos padrões que gera. No entanto, consegue fazer com sejam definidos padrões pontuais sobre qualquer zona de uma imagem numa mesma geração. No cenário não restritivo, os padrões constituídos pelas formigas são definidos como um todo, proporcionando *designs* com um maior nível de complexidade.

Capítulo 4

Conclusão

Na presente dissertação foi descrita uma forma de representar e descobrir novos espaços de possibilidades em ambientes de emergência de imagens 2D. As aproximações sugeridas efetuam uma procura por padrões e *designs* apelativos de um ponto de vista de arte computacional. Esta procura incide em *templates* mais ou menos restritos que moldam os comportamentos adoptados pelos agentes envolvidos. Desta forma, as soluções encontradas funcionam como funções de tarefas geométricas. Assim, as redes CPPN, que podem conter centenas de conexões na sua estrutura interna, são evoluídas com especial enfoque na geometria de detalhes específicos das imagens. Para demonstrar esta aproximação, o algoritmo genético NEAT evolui redes CPPN interligadas de forma a resolver problemas visuais relacionados com a progressão de trilhos de cores, morfologias do *template*, ou o contorno de domínios de decepção.

Capítulo 5

Bibliografia

Abandoning objectives: Evolution through the search for *novelty* alone. *Evolutionary Computation*, 19(2):189–223.

Lehman, J. and Kenneth O. Stanley (2011).

Automated Evolution of Interesting Images, Morphology, Evolution & Cognition Laboratory Department of Computer Science, University of Vermont

Joshua E. Auerbach (2012b)

Artificial Art Made by Artificial Ants, Université François Rabelais, Tours - Laboratoire d'Informatique (2008) Nicolas Monmarché, Isabelle Mahnich, and Mohamed Slimane

Aupetit, S., Bordeau, V., Monmarche, N., Slimane, M., Venturini, G.: Interactive evolution of ant paintings, 2003 Congress on Evolutionary Computation Proceedings (eds. B. McKay et al.), IEEE Press, vol. 2, 2003, 1376–1383.

Baluja, S., Pomerleau, D., and Jochem, T. (1994). Towards Automated Artificial Evolution for Computer-Generated Images. *Connection Science*, 6(2 and 3):325–354.

Caldwell, C. and Johnston, V. S. (1991). Tracking a criminal suspect through "Face-Space" with a genetic algorithm. In *Proceedings of Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, pages 416–421, San Diego, CA.

Compositional Pattern Producing Networks: A Novel Abstraction of Development, *Genetic Programming and Evolvable Machines Special Issue on Developmental Systems* 8 (2): 131–162

Kenneth O. Stanley (2007)

Creativity support tools: accelerating discovery and innovation
B Shneiderman - *Communications of the ACM*, 2007 - dl.acm.org

Dawkins, R. (1989). The Evolution of Evolvability. In Langton, C. G., editor, *Artificial Life*, pages 201–220. Addison-Wesley, Reading, MA.

Design. In *Proceedings of the 15th International Conference on Information Networking*, pages 479–487, Beppu City, Oita, Japan. IEEE Press.

Disney meets Darwin: an evolution-based interface for exploration and design of expressive animated behavior. Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Ventrella, J. J. (1994).

Efficient Evolution of Neural Networks through Complexification, PhD Dissertation, B.S.E., M.S.C.S.
Kenneth Owen Stanley

Exploiting Regularity Without Development, School of Electrical Engineering and Computer Science,
The University of Central Florida
Kenneth O. Stanley (2006)

Evolving Complete Robots with CPPN-NEAT: The Utility of Recurrent Connections, Morphology,
Evolution and Cognition Lab Department of Computer Science University of Vermont
Joshua E. Auerbach, Josh C. Bongard (2011)

Evolving Neural Networks Through Augmenting Topologies, *Evolutionary Computation* 10 (2): 99–127
Kenneth O. Stanley and Risto Miikkulainen (2002 a)

Efficient Reinforcement Learning Through Evolving Neural Network Topologies, *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2002 b)*
Kenneth O. Stanley and Risto Miikkulainen (2002)

Exploring Promising Stepping Stones by Combining *Novelty* Search with Interactive Evolution
Brian G. Woolley and Kenneth O. Stanley (2012)

Evolving Adaptive Neural Networks with and without Adaptive Synapses, *Proceedings of the 2003 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC-2003)*

Evolving Three-Dimensional Objects with a Generative Encoding Inspired by Developmental Biology
Jeff Clune and Hod Lipson (2010).

Evolutionary Art,
Saud Alrshoud, Viet Le, Iulian Resmerita, Umar Yakubu

Evolutionary Complexity (EPlex) Research Group at the University of Central Florida,
<http://eplex.cs.ucf.edu/>

Greenfield, G., Evolutionary methods for ant colony paintings, Applications of Evolutionary Computing, EvoWorkshops 2005 Proceedings, Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3449 (eds. F. Rothlauf et al), 2005, 478–487.

Guest Editors' Introduction: Understanding the Nature of Design

WP Birmingham, DC Brown - IEEE EXPERT, (1997) - projects.computer.org

Jeff Clune, Hod Lipson (2011)

Hart, D. A. (2007). Toward Greater Artistic Control for Interactive Evolution of Images and Animation. In Proceedings of the 2007 Evoworkshops on Evocomnet, Evofin, Evoiasp, Evointeraction, Evomusart, EvoSTOC and Evotranslog: Applications of Evolutionary Computing, LNCS 4448, pages 527–536, Valencia, Spain. Springer-Verlag.

Husbands, P., Gerny, G., McIlhagga, M., and Ives, R. (1996). Two applications of genetic algorithms to component design. Evolutionary Computing. LNCS 1143, pages 50–61.

Interactive evolution of ant paintings, Laboratoire d'Informatique de l'Université de Tours École Polytechnique de l'Université de Tours - Département Informatique
S. Aupetit, V. Bordeau, N. Monmarché, M. Slimane, G. Venturini

Kenneth O. Stanley, Bobby D. Bryant, and Risto Miikkulainen (2003)

Lund, H. H., Pagliarini, L., and Miglino, P. (1995). Artistic Design with GA and NN. In Proceedings of the 1st Nordic Workshop on Genetic Algorithms and Their Applications (1NWGA), pages 97–105, Vaasa, Finland.

Lehman, J. and Kenneth O. Stanley (2010b).

Lee, J.-Y. and Cho, S.-B. (1999). Incorporating human preference into content-based image retrieval using interactive genetic algorithm. In GECCO, page 1788, Orlando, FL.

Machado, P. and Cardoso, A. (2002). All the truth about NEvAr. Applied Intelligence Special Issue on Creative Systems, 16(2):101–118.

McCormack, J. P. (1993). Interactive Evolution of L-system Grammars for Computer Graphics

Modelling. In Green, D. G. and Bossomaier, T., editors, *Complex Systems: From Biology to Computation*, pages 118–130. IOS Press, Amsterdam.

Moura, L., Pereira, H., *Man + Robots: Symbiotic Art*, Institut d'Art Contemporain, Lyon/Villeurbanne, France, 2004.

Moura, L., Ramos, V., *Swarm paintings — nonhuman art*, *Architopia: Book, Art, Architecture, and Science* (eds. J. Maubant et al.), Institut d'Art Contemporain, Lyon/Villeurbanne, France, 2002, 5–24.

Nishino, H., Takagi, H., Cho, S., and Utsumiya, K. (2001). *A 3D Modeling System for Creative*

On the deleterious effects of a priori objectives on evolution and representation. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO '11*, New York, NY, USA. ACM.

On the Performance of Indirect Encoding Across the Continuum of Regularity

Jeff Clune, Kenneth O. Stanley, Robert T. Pennock, and Charles Ofria (2011)

Picbreeder: A case study in collaborative evolutionary exploration of design space. *Evolutionary Computation*, 19(3):373–403.

Picbreeder. <http://picbreeder.org/>

Picbreeder: Evolving pictures collaboratively online. In *CHI '08: Proceedings of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 1759–1768, New York, NY, USA. ACM.

Secretan, J., Beato, N., D'Ambrosio, D. B., Rodriguez, A., Campbell, A., and Kenneth O. Stanley (2008).

Phased Searching with NEAT: Alternating Between Complexification And Simplification

Colin Green (2004)

Ramos, V., Almeida, F., *Artificial ant colonies in digital image habitats - a mass behaviour effect study on pattern recognition*, *Proceedings of ANTS'2000 - 2nd International Workshop on Ant Algorithms: From Ant Colonies to Artificial Ants* (eds. M. Dorigo et al.), Brussels, Belgium, 2000, 113–116.

Ramos, V., Merelo, J., *Self-organized stigmergic document maps: environment as a mechanism for context learning*, *AEB 2002, First Spanish Conference on Evolutionary and Bio-Inspired Algorithms* (eds. E. Alba et al.), Merida, Spain, 2002, 284–293.

Raff, R. A. (1996). *The Shape of Life: Genes, Development, and the Evolution of Animal Form*. Chicago: The University of Chicago Press.

Revising the evolutionary computation abstraction: minimal criteria *novelty* search. In Proceedings of the 12th annual conference on Genetic and evolutionary computation, GECCO '10, pages 103–110, New York, NY, USA. ACM. Secretan, J., Beato, N., D.Ambrosio, D.B., Rodriguez, A., Campbell, A., Folsom-Kovarik, J.T., and Kenneth O. Stanley (2011).

Searching without objectives. Speech presented at SPLASH 2010, Reno/Tahoe, Nevada.

Kenneth O. Stanley (2010).

Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford, England: Oxford University Press

Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G. (1999)

Stanley, K. O., Reisinger, J., and Miikkulainen, R. (2004). Exploiting morphological conventions for genetic reuse. In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2004) Workshop Program. Berlin: Springer Verlag.

Self-organizing nest construction in ants: sophisticated building by blind bulldozing, *Animal Behavior* 44, 109-375 (1992)

N.R. Franks, A. Wilby, B.W. Silverman, C. Tofts

Self-organizing nest construction in ants: individual worker behaviour and the nest's dynamics, *Animal Behavior* 54. 779-796 (1997)

Nigel R. Franks & Jean-Louis Deneubourg

Sims, K. (1991). Artificial Evolution for Computer Graphics. In Proceedings of the 18th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '91), pages 319–328, Las Vegas, NV. ACM Press.

Self-Organization in Biological Systems, Chapter 17

Scott Camazine, Jean-Louis Deneubourg, Nigel R. Franks, James Sneyd, Guy Theraulaz, & Eric Bonabeau (2003)

Takagi, H. (2001). Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation. *Proceedings of the IEEE*, 89(9):1275–1296.

Todd, S. and Latham, W. (1992). *Evolutionary Art and Computers*. Academic Press, London

Thoughts on Computational Creativity, Department of Visualization, Texas A&M University, College Station, Texas, USA. Philip Galanter, MFA, BA

The Ants. Springer, Berlin

Hölldobler, B., Wilson, E. (1990)

Urbano, P., The *T. albipennis* sand painting artists, *Applications of Evolutionary Computation*, Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, LNCS 6625, 2011, 414–423.

Unemi, T. (1994). Genetic algorithms and computer graphic arts. *Journal of Japan Society for Artificial Intelligence*, 9(4):518–523.

World, L. (1996). Aesthetic Selection: The Evolutionary Art of Steven Rooke. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(1):4–5.

Watanabe, T. and Takagi, H. (1995). Recovering system of the distorted speech using interactive genetic algorithms. In *Systems, Man and Cybernetics, 1995. Intelligent Systems for the 21st Century.*, IEEE International Conference on, volume 1, pages 684–689, Vancouver, BC.

Woolley, B. G. and Kenneth O. Stanley (2011).

Zigmond, M. J., Bloom, F. E., Landis, S. C., Roberts, J. L., and Squire, L. R., editors (1999). *Fundamental Neuroscience*. London: Academic Press.